

DER EINFLUSS VON ALTER, GESCHLECHT UND
DOMINANTER GRUNDFREQUENZ AUF DIE
RHYTHMISCHE FOLGEREAKTION BEI
INTERMITTIERENDER PHOTOSTIMULATION.

Untersuchung an Kindern im Alter
zwischen einem und fünf Jahren.

HANS - MARTIN PFITZNER

1987

Disbui. München

AUS DEM INSTITUT FÜR SOZIALE PÄDIATRIE UND JUGENDMEDIZIN
DER UNIVERSITÄT MÜNCHEN

Vorstand: Prof. Dr.med. Dr.h.c. Th. Hellbrügge

DER EINFLUSS VON ALTER, GESCHLECHT UND DOMINANTER
GRUNDFREQUENZ AUF DIE RHYTHMISCHE FOLGEREAKTION
BEI INTERMITTIERENDER PHOTOSTIMULATION.
UNTERSUCHUNG AN KINDERN IM ALTER ZWISCHEN EINEM
UND FÜNF JAHREN.

Dissertation
zum Erwerb des Doktorgrades der Medizin
an der Medizinischen Fakultät der
Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von
Hans-Martin Pfitzner
aus
München
Jahr
1987

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München

Berichterstatter: Prof. Dr.med. Dr.h.c.Th.Hellbrüg

Mitberichterstatter: PD Dr. med. H. C. Kortling

Mitbetreuung durch den
promovierten Mitarbeiter: Dr.med. K. Sadowsky

Dekan: Prof. Dr.med. W. Spann

Tag der mündlichen Prüfung: 16. Juli 1987

Meiner Mutter gewidmet.

Seite

	Meiner Mutter gewidmet.	1
1.	Einleitung in die Physik.	2
1.1	Einleitung in die Physik.	2
1.2	Die Bedeutung der Physik.	3
1.3	Die Bedeutung der Physik.	4
1.4	Die Bedeutung der Physik.	5
1.5	Die Bedeutung der Physik.	6
1.6	Die Bedeutung der Physik.	7
1.7	Die Bedeutung der Physik.	8
1.8	Die Bedeutung der Physik.	9
1.9	Die Bedeutung der Physik.	10
1.10	Die Bedeutung der Physik.	11
1.11	Die Bedeutung der Physik.	12
1.12	Die Bedeutung der Physik.	13
1.13	Die Bedeutung der Physik.	14
1.14	Die Bedeutung der Physik.	15
1.15	Die Bedeutung der Physik.	16
1.16	Die Bedeutung der Physik.	17
1.17	Die Bedeutung der Physik.	18
1.18	Die Bedeutung der Physik.	19
1.19	Die Bedeutung der Physik.	20
1.20	Die Bedeutung der Physik.	21
1.21	Die Bedeutung der Physik.	22
1.22	Die Bedeutung der Physik.	23
1.23	Die Bedeutung der Physik.	24
1.24	Die Bedeutung der Physik.	25
1.25	Die Bedeutung der Physik.	26
1.26	Die Bedeutung der Physik.	27
1.27	Die Bedeutung der Physik.	28
1.28	Die Bedeutung der Physik.	29
1.29	Die Bedeutung der Physik.	30
1.30	Die Bedeutung der Physik.	31
1.31	Die Bedeutung der Physik.	32
1.32	Die Bedeutung der Physik.	33
1.33	Die Bedeutung der Physik.	34
1.34	Die Bedeutung der Physik.	35
1.35	Die Bedeutung der Physik.	36
1.36	Die Bedeutung der Physik.	37
1.37	Die Bedeutung der Physik.	38
1.38	Die Bedeutung der Physik.	39
1.39	Die Bedeutung der Physik.	40
1.40	Die Bedeutung der Physik.	41
1.41	Die Bedeutung der Physik.	42
1.42	Die Bedeutung der Physik.	43
1.43	Die Bedeutung der Physik.	44
1.44	Die Bedeutung der Physik.	45
1.45	Die Bedeutung der Physik.	46
1.46	Die Bedeutung der Physik.	47
1.47	Die Bedeutung der Physik.	48
1.48	Die Bedeutung der Physik.	49
1.49	Die Bedeutung der Physik.	50
1.50	Die Bedeutung der Physik.	51
1.51	Die Bedeutung der Physik.	52
1.52	Die Bedeutung der Physik.	53
1.53	Die Bedeutung der Physik.	54
1.54	Die Bedeutung der Physik.	55
1.55	Die Bedeutung der Physik.	56
1.56	Die Bedeutung der Physik.	57
1.57	Die Bedeutung der Physik.	58
1.58	Die Bedeutung der Physik.	59
1.59	Die Bedeutung der Physik.	60
1.60	Die Bedeutung der Physik.	61
1.61	Die Bedeutung der Physik.	62
1.62	Die Bedeutung der Physik.	63
1.63	Die Bedeutung der Physik.	64
1.64	Die Bedeutung der Physik.	65
1.65	Die Bedeutung der Physik.	66
1.66	Die Bedeutung der Physik.	67
1.67	Die Bedeutung der Physik.	68
1.68	Die Bedeutung der Physik.	69
1.69	Die Bedeutung der Physik.	70
1.70	Die Bedeutung der Physik.	71
1.71	Die Bedeutung der Physik.	72
1.72	Die Bedeutung der Physik.	73
1.73	Die Bedeutung der Physik.	74
1.74	Die Bedeutung der Physik.	75
1.75	Die Bedeutung der Physik.	76
1.76	Die Bedeutung der Physik.	77
1.77	Die Bedeutung der Physik.	78
1.78	Die Bedeutung der Physik.	79
1.79	Die Bedeutung der Physik.	80
1.80	Die Bedeutung der Physik.	81
1.81	Die Bedeutung der Physik.	82
1.82	Die Bedeutung der Physik.	83
1.83	Die Bedeutung der Physik.	84
1.84	Die Bedeutung der Physik.	85
1.85	Die Bedeutung der Physik.	86
1.86	Die Bedeutung der Physik.	87
1.87	Die Bedeutung der Physik.	88
1.88	Die Bedeutung der Physik.	89
1.89	Die Bedeutung der Physik.	90
1.90	Die Bedeutung der Physik.	91
1.91	Die Bedeutung der Physik.	92
1.92	Die Bedeutung der Physik.	93
1.93	Die Bedeutung der Physik.	94
1.94	Die Bedeutung der Physik.	95
1.95	Die Bedeutung der Physik.	96
1.96	Die Bedeutung der Physik.	97
1.97	Die Bedeutung der Physik.	98
1.98	Die Bedeutung der Physik.	99
1.99	Die Bedeutung der Physik.	100

Inhaltsverzeichnis

	Seite
<u>Einleitung</u>	1
1. <u>Literaturteil</u>	5
1.1 Einführung in die Photo- stimulation	5
1.2 Zur Entstehung des Photic Driving	8
1.2.1 Beschreibung des elektro- enzephalographischen Phänomens	8
1.2.2 Neurophysiologische Grundlagen des Photic Driving	11
1.2.3 Einflußgrößen auf das Photic Driving	22
1.2.3.1 Physiologischer und psycho- logischer Status	22
1.2.3.2 Experimentelle Variable	27
1.2.4 Die Altersentwicklung des Photic Driving	38
1.2.4.1 Photic Driving bei Neugeborenen und im Säuglingsalter	38
1.2.4.2 Photic Driving im Alter von 1 bis 15 Jahren	43
1.2.4.3 Photic Driving im Jugendalter (16 bis 21 Jahren)	46
1.2.4.4 Photic Driving im Erwachsenen- alter	48
1.3 Die Entwicklung der dominanten Grundfrequenz im Kindes- und Jugendalter	50

2.	<u>Hauptteil</u>	64
2.1	Beschreibung des Untersuchungs- gutes	64
2.1.1	Gesamtstichprobe	64
2.1.2	Art und Umfang der klinischen Untersuchungen	66
2.1.3	Teilstichprobe EEG-Unter- suchungen	67
2.2	Untersuchungsmethoden	70
2.2.1	Allgemeine Bedingungen	70
2.2.2	Photostimulation	75
2.2.3	Auswertung Photostimulation	75
2.2.4	Auswertung dominante Grund- frequenz	76
2.3	Untersuchungsergebnisse	77
2.3.1	Untersuchungen an der Gruppe klinisch gesunder Kinder (Gruppe 1)	77
2.3.1.1	Altersentwicklung des Photic Driving	77
2.3.1.2	Antwortmuster des Photic Driving	83
2.3.1.3	Einfluß des Geschlechts auf das Photic Driving	87
2.3.1.4	Altersentwicklung der dominanten Grundfrequenz	88
2.3.1.5	Einfluß der dominanten Grundfre- quenz auf das Photic Driving	89
2.3.1.6	Schwankungsbreite der dominanten Grundfrequenz und ihr Einfluß auf das Photic Driving	95

2.3.1.7	Einfluß des Geschlechts auf die Schwankungsbreite der dominanten Grundfrequenz	97
2.3.2	Untersuchungen an monozygoten Zwillingen	98
2.3.3	Untersuchungen an Kindern mit einem Hyperaktivitätssyndrom und anderen Verhaltensauffälligkeiten (Gruppe 2) und an Kindern mit neurologischen Krankheitsbildern, Entwicklungs- rückständen und zerebralen Dys- funktionen (Gruppe 3). Vergleich mit den Ergebnissen bei klinisch gesunden Kindern (Grup- pe 1).	101
2.3.3.1	Altersentwicklung des Photic Driving	101
2.3.3.1.1	Ergebnisse der Gruppe 2	101
2.3.3.1.2	Ergebnisse der Gruppe 3	105
2.3.3.1.3	Zusammenfassung der Ergebnisse	109
2.3.3.2	Antwortmuster des Photic Driving	110
2.3.3.2.1	Ergebnisse der Gruppe 2	110
2.3.3.2.2	Ergebnisse der Gruppe 3	112
2.3.3.2.3	Auswertung und Vergleich der Ergebnisse	114
2.3.3.3	Der Einfluß des Geschlechts auf das Photic Driving - Er- gebnisse der Gruppe 2 und der Gruppe 3	116

	Seite
2.3.3.4	Altersentwicklung der dominanten Grundfrequenz 117
2.3.3.4.1	Ergebnisse der Gruppe 2 117
2.3.3.4.2	Ergebnisse der Gruppe 3 118
2.3.3.5	Die Schwankungsbreite (Range) der dominanten Grundfrequenz und ihr Einfluß auf das Photic Driving 119
2.3.3.6	Der Einfluß des Geschlechts auf die Schwankungsbreite der dominanten Grundfrequenz 122
3.	<u>Diskussion</u> 124
4.	<u>Zusammenfassung</u> 130
5.	<u>Literaturverzeichnis</u> 133

Einleitung

Die ersten Hirnstromleitungen von der menschlichen Schädeloberfläche wurden 1929 von H. BERGER und 1934 von ADRIAN und MATTHEWS durchgeführt. Obwohl bis heute über die genaue Entstehung des EEG-Bildes Unklarheit herrscht, gelang es in der Folgezeit, einer Reihe von physiologischen und pathophysiologischen Zustandsbildern entsprechende elektroenzephalographische Korrelate zuzuordnen.

Seit mehreren Jahrzehnten ist das EEG zu einer gängigen klinischen Untersuchungsmethode geworden, die routinemäßig zu diagnostischen und therapeutischen Zwecken eingesetzt wird. Es leistet einen wesentlichen Beitrag zur Erkennung herdförmiger und diffuser Störungen sowie zur Therapiekontrolle, z.B. bei der medikamentösen Behandlung epileptischer Erkrankungen.

Darüberhinaus konnte in einer Reihe von Arbeiten (BERGER 1932; LINDSLEY 1936, 1938; SMITH 1937; BERNHARD und SKOGLUND 1939; GIBBS und KNOTT 1949; CORBIN und BICKFORD 1954; ELLINGSON 1958, 1960, 1964; DREYFUS-BRISAC 1959; PECHSTEIN 1970; PETERSEN und EEG-OLOFSSON 1971; EEG-OLOFSSON 1971; DUMERMUTH 1972; MATOUSEK und PETERSEN 1973; SAMSON-DOLLFUS und GOLDBERG 1979; JOHN und Mitarb. 1980; SADOWSKY und Mitarb. 1983) gezeigt werden, daß sich anhand bestimmter Parameter des EEG die Hirnreifung im Kindes- und Jugendalter ablesen läßt.



Solche Parameter sind unter anderem:

- Veränderungen des Frequenzspektrums der dominanten Grundfrequenz
- Topisches Verteilungsmuster der Frequenzkomponenten über dem Kortex
- Veränderungen der Reizantworten auf Provokationsmethoden (Hyperventilation, Photostimulation)

Die Photostimulation, mit der sich die vorliegende Arbeit vorrangig beschäftigt, wurde als Provokationsmethode in der Epilepsieforschung entwickelt. Bei gesunden Individuen mit normalem Ruhe-EEG wird bei der Stimulation mit Lichtblitzen unterschiedlicher Frequenz in einem hohen Prozentsatz eine für die Photostimulation spezifische physiologische Reaktion im EEG sichtbar, die sogenannte Photische Steuerung. Rhythmische Folgereaktion oder, mit einem auch in der deutschsprachigen Literatur gebräuchlichen englischen Fachausdruck, das Photic Driving.

Über die Entstehung dieses Phänomens gibt es eine Reihe von Erklärungsversuchen, jedoch noch kein wissenschaftlich gesichertes Modell.

In zwei Studien von PETERSEN und EEG-OLOFSSON (1971) und EEG-OLOFSSON (1971) wurden folgende altersabhängige Veränderungen des Photic Driving im Kindes- und Jugendalter beschrieben:

- der prozentuale Anteil der Kinder und Jugendlichen, die auf Photostimulation mit Photic Driving antworteten, nahm mit dem Alter signifikant zu.

- es fand eine Frequenzverschiebung der Driving-Antwort statt, mit zunehmendem Alter hin zu höheren Frequenzen. Diese Altersentwicklung des Photic Driving war im frühen Kindesalter am ausgeprägtesten.

Die "Münchener pädiatrische Längsschnittstudie: Früherkennung entwicklungsgefährdender Störungen mittels Vorsorgeuntersuchungen" versuchte seit 1970, Normwerte für Parameter einer altersgemäßen Entwicklung im frühen Kindesalter zu entwickeln. Im Teilprojekt "Visuelle und automatische Analyse des Elektroenzephalogramms im frühen Kindesalter zur Früherkennung hirnerkranklicher Schäden" wurden bei Kindern in verschiedenen Altersstufen zwischen dem Neugeborenenalter bis zur Vollendung des fünften Lebensjahres Ableitungen des Ruhe-EEG's sowie die Photostimulation durchgeführt. Das Forschungsprojekt war als Longitudinalstudie konzipiert.

Im Rahmen dieses Forschungsprojekts beschäftigte sich die vorliegende Arbeit mit folgenden Fragestellungen:

1. Lassen sich die Ergebnisse der Transversalstudie von PETERSEN und EEG-OLOFSSON bezüglich der Altersentwicklung des Photic Driving in der vorliegenden Longitudinalstudie bestätigen?
2. Lassen sich Normwerte für die Altersentwicklung des Photic Driving aufstellen, die als Parameter für die Früherkennung frühkindlicher Hirnreifungsstörungen dienen könnten?

3. Werden bestimmte Antwortmuster (Einfach- und Mehrfachantworten) signifikant bevorzugt? Gibt es bei den Antwortmustern eine Altersentwicklung?
4. Welchen Einfluß hat das Geschlecht der Probanden auf das Photic Driving?
5. Läßt sich die von zahlreichen Autoren beschriebene Altersentwicklung der dominanten Grundfrequenz bestätigen, sowohl quantitativ als auch qualitativ?
6. Besteht ein Zusammenhang zwischen der dominanten Grundfrequenz und der Frequenz, in der Photic Driving auftritt?
7. Beeinflußt die Schwankungsbreite der dominanten Grundfrequenz die Antworthäufigkeit des Photic Driving?
8. Welche Faktoren beeinflussen die Schwankungsbreite der dominanten Grundfrequenz? Beeinflussen vorrangig genetische Faktoren oder der aktuelle psychische und physiologische Status der Probanden die Schwankungsbreite der dominanten Grundfrequenz? Welchen Einfluß übt das Geschlecht der Probanden auf die Schwankungsbreite aus?
9. Bestehen bei den zu untersuchenden Parametern (1. - 8.) Unterschiede zwischen klinisch gesunden Kindern und Kindern mit einem Hyperaktivitätssyndrom oder anderen Verhaltensauffälligkeiten sowie Kindern mit neurologischen Krankheitsbildern, Entwicklungsrückständen und zerebralen Dysfunktionen?

1. Literaturteil

1.1 Einführung in die Photostimulation

BERGER (1932) beobachtete als erster Veränderungen des Ruhe-Elektroenzephalogramms unter dem Einfluß visueller Reize: durch das Öffnen der Augen - aber auch durch angestrengte geistige Tätigkeit - wurde der Alpha-Rhythmus "blockiert".

ADRIAN und MATTHEWS bestätigten 1934 diese Beobachtung. Sie untersuchten als erste Autoren den Einfluß rhythmischer Lichtblitzfolgen auf das EEG und beschrieben dabei das Auftreten einer synchronisierten Reizantwort über den parieto-okzipitalen Ableitungen, das Photic Driving oder die Rhythmische Folgereaktion.

WALTER, DOVEY und SHIPTON berichteten 1946 erstmals von pathologischen Aktivitätsmustern, die durch die intermittierende Photostimulation (IPS) hervorgerufen wurden.

COBB (1947) beschrieb schließlich drei Fälle, die auf die Exposition starken Flackerlichts mit epileptischen Anfällen reagierten.

Zahlreiche Arbeiten unterstrichen in der Folgezeit die Bedeutung der Photostimulation für die Epilepsieforschung und -diagnostik: GASTAUT, ROGER und GASTAUT 1948; GASTAUT 1950; DALY und BICKFORD 1951; HERRLIN 1954 sowie DOOSE und Mitarb. 1969.

Heute wird die IPS routinemäßig als Provokationsmethode

in der Epilepsiediagnostik durchgeführt.

Darüberhinaus fand die IPS auch in der neurophysiologischen Forschung Anwendung als Mittel zum Studium verschiedener Hirnfunktionen. Untersucht wurden mit dieser Technik beispielsweise die Reizung der Retina, die Ausbreitung visueller Afferenzen in den Sehbahnen und im visuellen Kortex, Einflüsse subkortikaler Strukturen sowie des nicht-optischen Kortex auf die Reizantwort, und Einflüsse der Hirnreifung. (WALTER und WALTER 1949; GASTAUT 1949; GASTAUT und HUNTER 1950; GASTAUT und Mitarb. 1951; MUNDY-CASTLE 1953 u.a.).

Eine Reihe von Arbeiten beschäftigte sich schließlich mit der Photostimulationsreaktion bei nicht-konvulsiven zerebralen Erkrankungen, z.T. unter Zuhilfenahme spektralanalytischer Methoden: KOOI, ECKMAN und THOMAS 1957; GOLLA und WINTER 1959; SMYTH und WINTER 1964; WIESER und HAFFNER 1974; COULL und PEDLEY 1977 sowie SCHEULER 1983.

Obwohl die untersuchten Patientengruppen sehr unterschiedliche Krankheitsbilder aufwiesen (zerebrovaskuläre Störungen, Entzündungen, Traumen, Tumoren, degenerative Hirnerkrankungen etc.), waren die aufgefundenen EEG-Veränderungen unspezifisch: Asymmetrische Entwicklung bzw. Ausprägung der Folgereaktion über den beiden Hirnhemisphären; schlechte Ausprägung der Folgereaktion seitengleich über beiden Hemisphären; aber auch besonders

gute Ausprägung der Folgereaktion (SCHEULER 1983).
Deshalb erwies sich die Photostimulation bei der
Gruppe nicht-konvulsiver zerebraler Erkrankungen
insgesamt als von nur begrenztem klinischen Wert.

1.2 Zur Entstehung des Photic Driving

1.2.1 Beschreibung des elektroenzephalographischen Phänomens

Das im folgenden beschriebene elektroenzephalographische Phänomen des Photic Driving tritt als physiologische Reaktion bei der Intermittierenden Photostimulation auf. Bei der IPS wird die Retina der Probanden mit Hilfe eines sogenannten Stroboskops gereizt, das in schneller Folge Lichtblitze in der Frequenz 1-3 pro Sekunde bis etwa 25 pro Sekunde aussendet.

Die detaillierteste in der Literatur aufgefundene Beschreibung der Rhythmischen Folgereaktion (Photic Driving) ist bei CARELS (1962) zu finden. Die im folgenden wiedergegebene Beschreibung des Phänomens bezieht sich, wenn nicht anders gekennzeichnet, auf diesen Autor. Er teilte das Photic Driving in mehrere Phasen ein:

1. Kurvenabflachung: Dieses Phänomen trat vor Beginn der rhythmischen okzipitalen Entladungen auf und fiel mit dem Beginn der Stimulation zusammen. Die Stimulationsfrequenz mußte dabei größer als 5-6 Lichtblitze pro Sekunde sein. In bestimmten Fällen zog sich diese Kurvenabflachung durch die gesamte IPS hindurch.
2. Biphasisches Potential: Dieses Potential trat als Antwort auf den ersten Lichtblitz auf. Dauer und Konfiguration ähnelten denen eines Evozierten

Potentials. Diese initiale Antwort wurde von einer elektrischen Depression gefolgt.

3. Antworten "coup pour coup": Dieses Phänomen war seltener. Es trat in Niedervoltage auf; die charakteristische Abflachung (sh. 1) trat dann erst nach mehreren Reaktionspotentialen auf.

4. Rhythmische Antwort: Nach der Phase der Kurven-depression begann eine vollkommen rhythmische Antwort, bei der

- jeder Lichtblitz mit einer okzipitalen Reizantwort korrespondierte (häufigster Antworttyp)
- seltener traten Antworten in einer Harmonischen oder Subharmonischen der Stimulusfrequenz auf, d.h. mehrere Antworten pro Lichtblitz bzw. eine Antwort auf mehrere Lichtblitze.

Nach CARELS waren die Reaktionspotentiale meistens in Spindeln vom Alpha-Typ gruppiert.

5. Persistenz der rhythmischen Antwort: Das Photic Driving persistierte nach Beendigung der IPS während einer mehr oder weniger langen Zeit, auf jeden Fall unter 0,5 sec. Der Autor vermutete, daß die Zeitdauer der Persistenz eine Funktion der Dauer der Latenzphase vor Beginn des Photic Driving ist.

6. Abklingen der Reaktion: Am Ende der rhythmischen Reaktion auf IPS entstand eine erneute Kurvenabflachung. Anschließend erschien wieder der Grundrhythmus, der vor Beginn der IPS bestanden hatte.

GASTAUT (1949) beschrieb das Phänomen des Photic Driving als Fusion von Reizantworten auf mehrere aufeinanderfolgende Lichtblitze. Bei einem ersten kurzdauernden Lichtblitz trat zunächst eine schnelle biphasische Welle auf, die zu Beginn positiv war, und die von einer langsamen biphasischen Welle gefolgt wurde, die zu Beginn negativ war. Der Autor konnte beobachten, daß bei einem zweiten Lichtblitz eine teilweise Fusion von langsamer und schneller biphasischer Welle in der Weise erfolgte, daß die Negativphase der ersten Welle mit der negativen Phase der zweiten Welle verschmolz. Die beiden fusionierten Wellen hatten eine Dauer von ca. 120 msec. War die Stimulationsfrequenz kleiner als 8 pro Sekunde, so folgte jeder fusionierten Welle der Alpha-Grundrhythmus (die Untersuchung war an erwachsenen Probanden durchgeführt worden), bei Stimulationsfrequenzen über 8 pro Sekunde (d.h. einer Distanz zwischen zwei Lichtblitzen, die unter 120 msec. lag) kam es zur Rhythmischen Folgereaktion.

DUMERMUTH (1972) beschrieb als Regionen, in denen der Driving-Effekt maximal ausgeprägt war, die medianen Okzipitalregionen sowie die unmittelbar benachbarten Hirnregionen. Über den mittleren Schädelregionen wurde das Photic Driving wesentlich seltener, über den frontalen Regionen praktisch nie beobachtet.

Derselbe Autor beschrieb, daß die Antwort des Photic Driving "nicht selten ... kontinuierlich von etwa 3 pro Sekunde bis 25 pro Sekunde erzielt werden kann".

In einer Studie von PETERSEN und EEG-OLOFSSON (1971) antworteten alle Kinder auch in Harmonischen der Stimulationsfrequenz.

1.2.2 Neurophysiologische Grundlagen des Photic Driving

Nach COULL und PEDLEY (1978) resultiert die Antwortreaktion der Rhythmischen Folgeaktion aus dem komplexen Zusammenspiel neuronaler Aktivität in vielen Arealen und auf vielen Niveaus.

GASTAUT (1949) beschrieb das elementare Driving-Phänomen als aus zwei Komponenten zusammengesetzt: Den Afferenzen der Sehbahn sowie thalamo-kortikalen Regelkreisen.

Nach WALTER und WALTER (1949) wies die Aufnahme von visuellen Stimuli in der Retina eine Reihe von Charakteristiken auf:

- Die Stimuli wurden in neuronale Impulsfrequenzen konvertiert. Diese Konversion betraf auch die Intensität der Stimuli: Unterschiede in der Stimulus-Intensität wurden in Unterschiede in der Impulsfrequenz umgesetzt. Die Rezeptoren führten also eine Puls-Frequenz-Modulation durch.

- Veränderungen in der Stimulusfrequenz und -intensität wurden dabei gegenüber gleichbleibender Stimulation bevorzugt, sowie schnelle Veränderungen gegenüber langsamen Veränderungen.

Nach den genannten Autoren sind die Vorteile einer solchen Verarbeitung:

- eine sehr große Bandbreite von verschiedenen Stimulus-Intensitäten kann verarbeitet werden
- es ist eine extreme Sensitivität für Veränderungen in der Stimulus-Intensität vorhanden.

Als Nachteile führten obige Autoren aus:

- Informationsverlust und Informationsveränderung durch die oben genannten Modi der Informationsverarbeitung
- ein gewisser Zeitaufwand ist zur Verarbeitung nötig. Eine bestimmte Zeit muß verstreichen, bis neue Informationen verarbeitet werden können. (Dies war von Bedeutung für die Erklärung des Photic Driving durch WALTER und WALTER, s.u.)

Anfälligkeit für Störungen. Als Beispiel wurde das Auftreten illusionärer visueller Sensationen genannt, etwa das Sehen der Farbe Rot bei Verwendung weißen Flackerlichts.

Wie von zahlreichen Autoren beschrieben, erreichen die in der Retina entstandenen neuronalen Impulse das Corpus geniculatum laterale, ein Kerngebiet des Thalamus. Anschließend setzen komplexe Verarbeitungsmechanismen ein, die bis heute nur sehr unvollständig bekannt sind.

Im folgenden sind eine Reihe von Erklärungsmodellen für die Entstehung des Phänomens Photic Driving aufgeführt.

a) Erklärungsmodell WALTER und WALTER (1949)

Die Autoren kamen in ihrer Studie, in der mehrere hundert normale und klinisch auffällige Personen untersucht wurden, zu dem Ergebnis, daß die Antwort auf IPS "bei allen Personen und zu allen Zeiten" aus mehreren Komponenten zusammengesetzt ist. Viele der Unterkomponenten konnten als getrennte Einheiten lokalisiert werden, andere standen in einem Zusammenhang mit der Wellenform der Elementarantwort.

WALTER und WALTER konnten eine deutlichere Ausprägung des Driving-Phänomens feststellen, wenn die Stimulationsfrequenz in der Nähe des spontanen Alpha-Rhythmus (nicht notwendigerweise des dominanten) lag. Dabei trat das Photic Driving in zwei Arten auf:

- Die Autoren erklärten das Photic Driving bei Personen mit betontem Alpha-Rhythmus im Ruhe-EEG als Addition der Evozierten und der spontanen Potentiale.
- Bei Personen, die im Ruhe-EEG nicht oder nur in geringem Maß Alpha-Rhythmen aufwiesen, reichte die obige Erklärung nicht aus. Die Autoren nahmen hier einen "neuralen Mechanismus mit selektiven und resonanten Charakteristiken" an, der durch den rhythmischen Stimulus erregt wird.

Eine andere Erklärungsmöglichkeit sahen die Autoren in folgender Modellvorstellung:

Die visuellen Kortexareale, die afferente Signale an den übrigen Kortex übermitteln, müssen "die Koordinatensysteme wechseln, auf denen die Signale angeordnet sind". Die Alpha-Rhythmen spielen in diesem Denkmodell die Rolle von "Abtast-Generatoren, die das räumliche Erregungsmuster in einen Impulscode auf einer Zeitbasis für die Übertragung in andere Regionen konvertieren". Rhythmische Stimuli hoher Frequenz würden diese visuellen Verarbeitungsmechanismen gleichsam "einklemmen". Die Abtast-Generatoren würden zwar noch funktionieren, aber statt ihre routinemäßige Ort-Zeit-Transformation auszuführen, würden sie Impulse in einer Frequenz verbreiten, die auf den Stimulus bezogen ist. Bei ausgedehnten Stimuli niedriger Frequenz träte das Photic Driving in Harmonischen der Stimulusfrequenz auf. Hochfrequente Stimuli in der Nähe des Abtastrhythmus hingegen würden neue Effekte hervorrufen, wenn sich die Abtastmechanismen gegen afferente Impulse verschließen: Es käme dann zu einer "Abspielung des Abtastrasters selbst", d.h. zum Auftreten der Alpha-Rhythmen. Eine Erklärung für das Auftreten von Harmonischen bzw. Subharmonischen der Stimulusfrequenz beim Photic Driving fanden WALTER und WALTER auf der Ebene der

Rezeptoren. Die Rezeptoren der Retina zeigten bei der rhythmischen Stimulation Ermüdungserscheinungen. Während der ersten Stadien kam es dabei zum Auftreten von Subharmonischen.

Bei Stimuli, die genügend ausgedehnt waren, um das Photic Driving auslösen zu können, kam es bei einigen Stimulusfrequenzen und Stimulusintensitäten zum Auftreten von Harmonischen.

Dieses Erklärungsmodell beruhte auf Untersuchungen einer Rezeptoreinheit. Oft jedoch - so die Autoren - seien die Reaktionen eines Nervenstammes nicht sehr verschieden von den Reaktionen einer einzelnen neuronalen Einheit.

b) Erklärungsmodell MUNDY-CASTLE (1953)

Der Autor kam in einer Untersuchung, die an 154 normalen jugendlichen Erwachsenen (Durchschnittsalter 22 Jahre) und 40 normalen Personen mit Durchschnittsalter 75 Jahre durchgeführt wurde, zu folgenden Schlußfolgerungen: Das Photic Driving entsteht durch eine Vermehrung spontaner Rhythmen, die entweder in direkter oder harmonischer Beziehung zur Stimulusfrequenz steht. Dieser Prozeß sei mit einer Art Resonanzmechanismus vergleichbar. Der Autor stellte dabei signifikante Zusammenhänge zwischen der Frequenz der spontanen Aktivität und dem Auftreten von Photic Driving in derselben Frequenz fest.

Eine hohe Signifikanz bestand insbesondere bei spontanen Alpha-Frequenzen, die höher als 10,3 /sec. lagen. Hier kam es bevorzugt zum Auftreten von Photic Driving in Reiz-Frequenzen zwischen 14 und 26 /sec. sowie zum Auftreten 2. und 3. Harmonischer. Allerdings waren individuelle Unterschiede beim Auftreten spontaner Alpha-Rhythmen feststellbar. MUNDY-CASTLE stellte folgende Klassifikation auf:

- Personen, die im Ruhe-EEG nur in geringem Maß Alpha-Rhythmen aufwiesen (sogenannter Minus-Typ). Diese Personengruppe antwortete mit Photic Driving vor allem bei Stimulationsfrequenzen im Beta-Bereich; bei ihr war auch ein vermehrtes Auftreten 3. Harmonischer feststellbar.
- Personen, die im Ruhe-EEG Alpha-Rhythmen aufwiesen (sogenannter Antwort-Typ).
- Personen, die auch bei geistiger Konzentration keine Alpha-Blockade zeigten, bei denen also der Alpha-Rhythmus persistierte (sogenannter Persistenz-Typ).

Die beiden letzteren Gruppen zeigten neben dem Auftreten des Photic Driving in der Frequenz des Alpha-Rhythmus ein bevorzugtes Auftreten 2. Harmonischer.

Einen signifikanten Zusammenhang entdeckte MUNDY-CASTLE darüberhinaus zwischen der Existenz schneller Beta-Rhythmen im Spontan-EEG und dem Auftreten 2. und 3. Harmonischer.

Zwischen dem Auftreten von Subharmonischen und spontanen Alpha-Rhythmen konnte hingegen kein Zusammenhang festgestellt werden. Auffällig war das häufigere Vorkommen 2. Subharmonischer bei Jugendlichen im Vergleich zu Erwachsenen. Wenn 3. und höhere Subharmonische auftraten, kam es häufig zu abnormen und epileptischen Entladungen.

Aus diesen Befunden zog der Autor folgende Schlußfolgerungen:

- Durch IPS können bereits existierende Rhythmen in vorbestehenden Schaltkreisen vermehrt oder hervorgerufen werden, vergleichbar einem Prozeß resonanter Erregung. Dabei stehen diese Rhythmen in direkter oder harmonischer Beziehung zur Stimulusfrequenz.
- Das Auftreten von Subharmonischen stellt möglicherweise einen elektroenzephalographischen Ausdruck einer Unreife des ZNS dar. Für diese Annahme sprach das häufigere Vorkommen bei Jugendlichen.
- Entsprechend dem Modell von WALTER und WALTER (1949) wurde das Vorkommen von Harmonischen wie folgt erklärt: Wenn jeder einzelne Stimulus ausreichend lang oder intensiv ist, kann jeder Stimulus eine verlängerte Impulsfolge hervorrufen, was unter bestimmten Bedingungen zum Auftreten 2. und 3. Harmonischer führen kann. Daß 2. und 3. Harmonische gehäuft in der Personengruppe vorkamen, deren Alpha-Rhythmen höher als 10.3 /sec. lagen, führte MUNDY-CASTLE auf die höhere Erregbarkeit

zurück, die sich in der hohen Alpha-Frequenz und der entsprechend höheren Frequenz des Photic Driving ausdrückte. Nach Ansicht dieses Autors führen die hohen Entladungsraten im optischen Nervenstamm dann zu einer verstärkten Neigung zu Entladungen in der doppelten oder dreifachen Frequenz bezogen auf die Stimulusfrequenz.

c) Erklärungsmodell SATO und Mitarb. (1961)

Die Autoren konnten durch moderne spektralanalytische Methoden zeigen, daß die dominante Alpha-Frequenz im Ruhe-EEG und das Photic Driving nicht identisch sind. Im Ruhe-EEG erschien zunächst ein dominanter Peak bei ca. 10 /sec. im Spektrum.

Während der Stimulation traten zwei Peaks im Power Spektrum auf: Einer mit derselben Frequenz wie im Ruhe-EEG, d.h. bei 10 /sec., der andere bei der Stimulationsfrequenz.

Durch Kreuzkorrelation der Powerspektren von Ruhe- und Stimulations-EEG wurden alle Wellen eliminiert, die für die Stimulation irrelevant waren. Übrig blieb in dieser Kreuzkorrelation lediglich der Peak in Höhe der Stimulationsfrequenz; der Peak bei 10 /sec. im Ruhe-EEG war eliminiert worden. Die Autoren folgerten, daß dieser letztere Peak nicht eine Antwort auf IPS sein konnte, sondern durch andere Faktoren verursacht wurde.

d) Erklärungsmodell SCHEULER (1983)

Eine auf neurophysiologischen Erkenntnissen basierende Modellvorstellung entwickelte SCHEULER (1983):

Zustandekommen der kortikalen EEG-Aktivität

In der kortikalen Aktivität allgemein komme die Kooperation von drei Funktionssystemen zum Ausdruck:

- Thalamokortikale Systeme.

Sie seien für die unmittelbare temporo-spatiale Strukturierung der rhythmischen Aktivität verantwortlich.

- Spezifische oligosynaptische Systeme.

Sie übten einen aktivierenden Einfluß auf die thalamischen Relais- und Assoziationskerne aus und beeinflussten über eine hemmende Wirkung das sogenannte "unspezifische" mesodienzepale retikuläre System.

- Unspezifische, polysynaptische retikuläre Systeme.

Ihre inhibitorisch wirkende Neuronenanteile seien von großer Wichtigkeit. Ihr Einfluß werde in ständigem Ausgleich durch aktivierende Kollateralen der thalamokortikalen Systeme verstärkt und durch inhibitorische Kollateralen der retikulären Systeme abgeschwächt.

Alle drei Funktionssysteme beeinflussen sich nach SCHEULER gegenseitig. Bei einem entsprechenden Gleichgewichtszustand, so folgerte der Autor, könnte daraus eine rhythmische Funktionsweise resultieren.

Eine Beeinflussung dieser Rhythmik finde über die oben

erwähnte inhibitorischen Interneurone statt.

Beeinflussung der kortikalen EEG-Aktivität durch
Photostimulation.

SCHEULER (1983) übertrug diese neurophysiologische Modellvorstellung auf die posteriore rhythmische EEG-Aktivität. Das thalamo-kortikale System besteht dann aus Pulvinar, Nucleus lateralis dorsalis posterior thalami sowie dem parieto-okzipitalen und temporo-posterioren Kortex. Eine Beeinflussung der kortikalen EEG-Aktivität durch afferente Impulse erfolgt über mehrere Wege:

- durch direkte Verbindung zu den posterioren Assoziationskernen des Thalamus
- nach Umschaltung im Corpus geniculatum laterale oder über Bahnen, die zum Prätectum und zum Colliculus superior ziehen
- über den Faszikulus tectoreticularis, der die Beeinflussung der mesenzephalen Retikularis ermöglicht.

Zusammenfassend:

SCHEULER (1983) erklärte das Phänomen Photic Driving als Beeinflussung der kortikalen EEG-Aktivität durch afferente Impulse, die über verschiedene Nervenbahnen die rhythmische Aktivität des Ruhe-EEG verändern.

Ergänzend seien hier eine Reihe weiterer Arbeiten erwähnt, die die neuroanatomischen und neurophysiologischen

Erkenntnisse erweiterten.

Aus einer Untersuchung von COULL und PEDLEY (1978) ging hervor, daß eine Reihe weiterer Hirnareale des nicht-visuellen Systems die Antwortreaktion auf photische Stimulation beeinflussen: Der anteriore und anterio-laterale Kortex und die subkortikale weiße Substanz, der Nucleus caudatus und Nucleus lenticularis sowie der frontale granuläre Kortex. Alle diese Strukturen üben eine inhibitorische Wirkung auf die Entwicklung des Photic Driving aus.

LANSING und THOMAS (1964) kamen in ihrer Untersuchung mit 34 Erwachsenen zum Ergebnis, daß die Antwortreaktion des Photic Driving weitgehend von bilateralen Projektionen ausgearbeitet wird, die von subkortikalen Zentren zum okzipitalen Kortex ziehen, oder von interhemisphärischen Verbindungen zwischen den Areae striatae.

Nach COULL und PEDLEY (1978) bestehen weitverzweigte Projektions- und Assoziationsfasern zwischen dem visuellen Kortex und den kortikalen und subkortikalen Regionen der Temporal-, Parietal- und Frontallappen sowie dem Thalamus und dem retikulären System des Hirnstammes. Nach Ansicht desselben Autors sind bei der Entstehung des Photic Driving auch nichtvisuelle Systeme involviert.

1.2.3 Einflußgrößen auf das Photic Driving

1.2.3.1 Physiologischer und psychologischer Status

WALTER und WALTER (1949) berichteten, daß die Antwort normaler Versuchspersonen hochgradig variabel und abhängig vom physiologischen und psychologischen Status waren. Zu demselben Ergebnis kam auch MUNDY-CASTLE (1953).

Alter

Als wichtigste Variable ist das Alter der Probanden anzusehen. Diese Einflußgröße wird unter 1.2.4 näher beschrieben.

Geschlecht

EEG-OLOFSSON und PETERSEN (1971) führten eine Studie an 743 normalen Kindern (389 Mädchen und 354 Jungen) durch. Sie berichteten, daß Mädchen signifikant häufiger mit Photic Driving antworteten als Jungen.

Persönlichkeitsunterschiede

MUNDY-CASTLE (1953) zeigte, daß Persönlichkeitsunterschiede die Antwort auf IPS beeinflussen. Personen mit lebhaftem Temperament wiesen im Ruhe-EEG hohe Alpha-Frequenzen (über 10,3 /sec.) auf. Probanden mit einer solchen Grundaktivität antworteten signifikant häufiger mit Photic Driving im Frequenzbereich 14 - 26 /sec. sowie in der 2. und 3. Harmonischen der Stimulusfrequenz. Personen mit langsamer, ausgeglichener

und beständiger psychischer Grundhaltung wiesen vergleichsweise niedrige Alpha-Frequenzen auf; sie antworteten signifikant seltener mit Photic Driving im Frequenzbereich 14 - 26 /sec. sowie in der 2. und 3. Harmonischen.

Von ähnlichen Ergebnissen berichteten GASTAUT und Mitarb. (1952). Ruhige Individuen mit einem niederfrequenten Alpha-Rhythmus (8-10 /sec.) und hohen Amplituden in der EEG-Ableitung zeigten kaum Photic Driving. Nervöse Individuen mit hochfrequentem Alpha-Rhythmus (10-13 /sec.) und niedrigen Amplituden der EEG-Ableitung antworteten hingegen wesentlich häufiger mit Photic Driving.

Im Gegensatz zu den obigen Autoren berichtet SCHEULER (1983) von einer engen Affinität einer gesteigerten Antwortreaktion auf IPS im Alpha-Frequenzbereich zu depressiven und neurasthenischen Zustandsbildern.

Geistige Anstrengung

WALTER und WALTER (1949) berichteten vom Einfluß geistiger Anstrengung auf das Photic Driving. Sie führten das Beispiel eines normalen Patienten an, dessen dominante Grundfrequenz bei 11 /sec. lag. Wenn er gebeten wurde, sich eine Reihe von Familienszenen vorzustellen, halbierte sich die Amplitude bei der Stimulusfrequenz 7 Hz. Die Amplitude seiner Antwort in der 2. Harmonischen blieb unberührt, die

der 3. Harmonischen wuchs fast bis zur Größe der Grundantwort. Geringere Veränderungen konnten die genannten Autoren auch bei anderen normalen Versuchspersonen finden.

CARELS (1962) kam ebenfalls zu dem Ergebnis, daß geistige Arbeit einen depressiven Effekt auf die Amplitude der Driving-Antwort hat. Dieser Effekt war sehr intensiv und langanhaltend.

Hormone

Mehrere Arbeiten (FLORU und Mitarb. 1962; VOGEL und Mitarb. 1969; VOGEL, BROVERMAN und KLAIBER 1971; SHETTY 1971; VOGEL und Mitarb. 1974) beschäftigten sich mit hormonalen Einflüssen auf das Photic Driving.

FLORU und Mitarb. (1962) und SHETTY (1971) konnten zeigen, daß ein erhöhter Plasmaspiegel an Adrenalin und Noradrenalin die Driving-Antwort blockieren, während Substanzen (z.B. Phenothiazine), die zentrale adrenerge Prozesse blockieren, das Photic Driving verstärken. VOGEL und Mitarb. (1969) zeigten, daß ein Überwiegen zentraler adrenerger Prozesse gegenüber cholinergen Prozessen ebenfalls das Photic Driving hemmt.

VOGEL, BROVERMAN und KLAIBER (1971) stellten einen hemmenden Einfluß der Steroidhormone Östrogen und Testosteron auf das Photic Driving fest. In einer weiteren Studie kamen VOGEL und Mitarb. (1974) zu dem Ergebnis, daß die Inhibition der Monoaminoxidase (MAO) im Plasma durch die Gabe eines MAO-Hemmers (Isocarboxazid) die Antwortbereitschaft signifikant vermindert.

VOGEL und Mitarb. (1974) stellten die Hypothese auf, daß Zusammenhänge zwischen der MAO-Aktivität im Plasma und der MAO-Aktivität im Gehirn bestünden. Eine Inhibition der MAO, die vermutlich eine Funktion als Neurotransmitter in adrenergen Neuronen hat, würde demnach eine Verstärkung adrenerger Prozesse im Gehirn bedeuten, deren hemmender Einfluß auf das Photic Driving bereits nachgewiesen wurde (s.o.). Den hemmenden Einfluß von Östrogen und Testosteron auf das Photic Driving führten VOGEL und Mitarb. auf deren Eigenschaft zurück, die MAO zu hemmen.

Blutzucker

Eine weitere Variable für die Entwicklung des Photic Driving stellt das Blutzucker-Niveau dar. WALTER und WALTER (1949) berichteten von einer erhöhten Bereitschaft zur Entwicklung von Anomalien (z.B. Asymmetrien) bei Photic Driving nach längerem Fasten der Probanden. (Von einigen Untersuchern, z.B. EEG-OLOFSSON 1971, wurde deshalb Nahrungsaufnahme vor den EEG-Ableitungen zum methodologischen Bestandteil der Untersuchung gemacht).

Medikamente

Bekannt ist die Wirkung vor allem zentralnervös dämpfender Medikamente auf das normale Ruhe-EEG. DUMERMUTH (1972) nannte als gemeinsames Merkmal zentralnervös dämpfender Medikamente die vermehrte Beta-Aktivität. Darüberhinaus kam es zu einer Reihe von Allgemeinveränderungen im EEG. Als besonders gebräuchliche Medikamente dieser Art nannte der Autor

- Barbiturate
- Hydantoine
- Primidon

- Trimethadion
- Ethosuximid
- Aldehyde
- Chlorpromazin und viele andere

GASTAUT (1951) untersuchte die Wirkung einiger Medikamente auf das Visuelle Evozierte Potential (VEP): Barbiturate bewirkten eine Verkleinerung der Amplitude; dieselbe Veränderung rief in noch stärkerem Ausmaß Äther hervor. Bei Verabreichung von Cardiazol hingegen kam es zu einer Vergrößerung der Amplitude.

Über die Wirkungen von Medikamenten auf das Phänomen des Photic Driving selbst gibt es hingegen wenig Literatur. Eine in der Vergangenheit in der Epilepsieforschung angewandte Provokationsmethode war die kombinierte Aktivierung der Hirnaktivität durch Photostimulation und gleichzeitige Gabe von Metrazol, einem krampfschwellensenkenden Medikament.

GASTAUT (1950) berichtete in einer Untersuchung mit normalen Probanden von einer Verstärkung des Photic Driving bei Gabe niedriger Dosen von Metrazol. Bei Überschreitung einer bestimmten Schwellendosis, die bei normalen Erwachsenen bei ca. 10mg/kg Körpergewicht lag, kam es zu Anormalitäten, wie z.B. von Auftreten von Spikes, langsamen Wellen und photomyoklonischen Reaktionen. Diese Anormalitäten konnten bis zum Auftreten generalisierter Krampfanfälle gesteigert werden.

Durch Gabe von Trimethadion, einem Antiepileptikum, konnte die Wirkung von Metrazol auf die Driving-Antwort innerhalb weniger Sekunden rückgängig gemacht werden.

Die beschriebenen Anormalitäten traten bei normalen Versuchspersonen nur bei Stimulationsfrequenzen zwischen 10 und 20 Blitzen pro Sekunde auf. Als besonders effektiv erwies sich eine Stimulationsfrequenz von ca. 15 Blitzen pro Sekunde.

1.2.3.2 Experimentelle Variable

Intensität des Stimuluslichts

Eine grundlegende Untersuchung über den Einfluß der Intensität des Stimuluslichts auf das Photic Driving führte MONTAGU (1967) durch. 8 männliche und 8 weibliche Probanden wurden vier verschiedenen Stimulusintensitäten ausgesetzt. Die Intensität der Stimulation wurde verändert, indem die Modulationsbreite verändert wurde. Vier verschiedene Intensitätsstufen wurden in dem Versuch verwendet, mit Modulationsbreiten von 25, 50, 75 und 100%. Bei jeder dieser Stimulusintensitäten wurden die Probanden mit acht verschiedenen Stimulationsfrequenzen zwischen 6 und 30 /sec. stimuliert.

Die Antworten wurden einer automatischen Analyse

unterzogen mit dem Ziel, die Quantität jeder Frequenzkomponente über einen bestimmten Zeitraum (10 Sekunden) zu ermitteln. Veränderungen in den Antworten wurden in Äquivalenten des reinen Grundsignals ausgedrückt.

Während der Stimulation in der niedrigsten Frequenz (6 Hz) und im Bereich hoher Frequenzen (16-30 Hz) wuchs die Antwort mit jeder Verstärkung der Intensität. Bei Darstellung des Logarithmus der Antwort gegen die linear aufgetragene Intensität war das Verhältnis angenähert linear.

Bei der Stimulation im Bereich 8-12 Hz wuchs die Antwort mit der Zunahme der Intensität nur bis zu einem bestimmten, individuell unterschiedlichen Punkt. Sodann kam es zu einem Abnehmen der Antwort trotz weiterer Steigerung der Intensität.

Bei Antworten in der 2. Harmonischen bot sich folgendes Bild: Bei der Stimulationsfrequenz 6 Hz gab es keinen zusammenhängenden Trend! Im Bereich 8-12 Hz zeigte sich ein ähnlicher Effekt wie beim Photic Driving in der Grundfrequenz. Bei Stimulationsfrequenzen über 12 Hz waren die Antworten in der 2. Harmonischen klein und zeigten keine Beziehung zum Wechsel in der Intensität.

Bei Antworten in der 3. und 4. Harmonischen bot sich ein ähnliches Bild wie bei Antworten in der 2. Harmonischen.

In experimentellen Versuchsanordnungen hat sich bei der IPS die Stimulation mit Lichtblitzen hoher Intensität eingebürgert. Dabei ist aber darauf zu achten, daß die Schwelle nicht überschritten wird, bei der es zur Schädigung der Retina kommt (CARTERETTE und SYMMES 1951)

Brillanz

GASTAUT (1949) berichtete, daß die Brillanz, d.h. die Unterscheidbarkeit einzelner Lichtblitze, keinen Einfluß auf Entwicklung und Ausprägung des Photic Driving hatte. Dennoch wird in den meisten Versuchsanordnungen auf eine hohe Brillanz, d.h. auf ausreichend kurze Lichtblitze bzw. einen ausreichenden Abstand zwischen zwei Lichtblitzen geachtet.

Hintergrundbeleuchtung

In der EEG-Routinediagnostik wird die IPS gewöhnlich bei reduzierter Raumbelichtung durchgeführt.

VAN EGMOND und Mitarb. (1980) beschrieben als Vorteile einer reduzierten Raumbelichtung, daß Dunkeladaption, Pupillendilatation und größerer Helligkeitskontrast zwischen Lichtblitzen und Hintergrund eine effektive Intensivierung der Hirnreizung bewirkten.

Über den tatsächlichen Einfluß reduzierter Hintergrundbeleuchtung auf die Antwortbereitschaft mit Photic Driving und auf die Qualität des Photic Driving sind dem Autor der vorliegenden Arbeit keine Untersuchungen

bekannt. VAN EGMOND und Mitarb. (1980) berichteten aber aus ihrer Studie an 33 photosensitiven Patienten, daß zwar ein Drittel der Probanden eine größere Ausprägung der Photosensibilität im abgedunkelten Raum zeigten, daß aber keine signifikanten Unterschiede im Hinblick auf den Stimulusfrequenzbereich bestand, bei dem photoparoxysmale Antworten auftraten. Auch das Photic Driving trat in denselben Frequenzklassen sowohl bei normaler als auch bei abgedunkelter Hintergrundbeleuchtung auf. Die Autoren schlossen daraus, daß die geläufige Praxis, die Hintergrundbeleuchtung zu reduzieren, keine Vorteile hat.

Reizfrequenz

Es bestehen, wie schon im Kapitel "Neurophysiologische Grundlagen des Photic Driving" ausgeführt, komplexe Beziehungen zwischen der Stimulusfrequenz, bei der das Photic Driving auftritt, und dem Grundrhythmus des spontanen Ruhe-EEG's.

WALTER und WALTER (1949), MUNDY-CASTLE (1953), sowie DUMERMUTH (1972) berichteten übereinstimmend, daß sich das Photic Driving oft kontinuierlich bei Stimulationsfrequenzen im Bereich zwischen etwa 3 /sec. und 25 /sec. auslösen ließ, besonders leicht und in besonders guter Ausprägung jedoch bei Stimulationsfrequenzen, die dem spontanen Grundrhythmus f und seinen Harmonischen ($2f, 3f$ usw.) bzw. Subharmonischen

($f/2$, $f/3$ usw.) entsprechen. Eine besondere Neigung zum Auftreten von Photic Driving bestand insbesondere bei einer dominanten Grundfrequenz im Bereich hoher Alpha-Rhythmen ($10,3$ /sec. - 13 /sec.). LAGET und HUMBERT (1954) berichteten von unterschiedlichem Antwortverhalten bei der Photostimulation mit verschiedenen Stimulationsfrequenzen, je nachdem, ob mit niedrigen Stimulationsfrequenzen begonnen wurde (aufsteigende Reihenfolge), oder ob ausgehend von hohen Stimulationsfrequenzen nach und nach mit immer geringeren Frequenzen stimuliert wurde (abnehmende Reihenfolge). Manche Versuchspersonen reagierten bei aufsteigender Reihenfolge der Photostimulation nicht mit Photic Driving, bei abnehmender Reihenfolge erfolgte jedoch eine deutliche Aktivierung. In einem Fall antwortete ein Patient bei aufsteigender Reihenfolge der Stimulationsfrequenzen mit Photic Driving bei nur einer Frequenz, bei abnehmender Reihenfolge jedoch in mehreren Stimulationsfrequenzen.

Belichtung der Retina

GASTAUT (1949) berichtete, daß die Ausdehnung der Fläche der Retina, die vom Flackerlicht beleuchtet wird, von großer Wichtigkeit für das Auftreten und die Ausprägung der Driving-Antwort ist. Bei zunehmender Entfernung der Lichtquelle vom menschlichen Auge, d.h. bei Reduktion der belichteten Fläche, fand eine schnelle Reduktion der Driving-Rhythmen statt. Ebenso

war die Reizung nur eines Auges durch IPS weit weniger effektiv als die Stimulation beider Augen. Jedoch veränderte sich bei der Stimulation nur eines Auges die Lokalisation des Photic Driving über der Schädeloberfläche nicht.

Schließen und Öffnen der Augen

Es ist allgemein bekannt, daß im normalen Ruhe-EEG deutlich unterschiedliche EEG-Muster auftreten, je nachdem ob während der Ableitung die Augen der Versuchspersonen geöffnet oder geschlossen sind. So wurden bei der Anwendung der Photostimulation bei photosensitiven Patienten die abnormalen Antworten im allgemeinen deutlich verstärkt, wenn die Augen der Probanden geschlossen waren (NAQUET, R. (Edit.): Handbook of EEG and Clinical Neurophysiology, Amsterdam 1976). Für diese Verstärkung photoparoxysmaler Antworten wurden mehrere Erklärungen gefunden:

- Augenlider sind "Dispersoren" des Lichts. Bei Patienten, die wenig oder keine Lichtsensitivität bei direkter Stimulation durch ein Stroboskop zeigten, traten photoparoxysmale Abnormitäten auf, sobald zwischen die Lichtquelle und die Augen des Patienten ein durchsichtiges Material, z.B. eine Seite Schreibmaschinenpapier zwischengeschaltet wurde. Die abnormalen Antworten verschwanden unmittelbar nach Entfernen des Papiers (Handbook of EEG and Clinical Neurophysiology, 1976).

- Augenlider sind selektive Spektralfilter, die bevorzugt rotes Licht durchlassen. Einige Patienten reagierten auf IPS mit rotem Licht weit ausgeprägter als auf Photostimulation mit weißem Licht.
(Handbook of EEG and Clinical Neurophysiology, 1976)

Ob das Öffnen und Schließen der Augen während der IPS Einfluß auf die Driving-Antwort bei gesunden Individuen hat, wird in der Literatur unterschiedlich beantwortet. GASTAUT (1949) berichtete, daß der Einfluß des Augenschließens auf das Photic Driving "beträchtlich" war und daß die induzierten Rhythmen "oft in spektakulärer Weise" verstärkt wurden. Das Öffnen der Augen hingegen bewirkte oft eine Supprimierung der Rhythmen.

Im Gegensatz zu diesen Befunden steht das Untersuchungsergebnis von WALTER und WALTER (1949), wonach auch bei geschlossenen Augen die Intensität der Reizung der Retina maximal war und keine Veränderung des Elektroretinogrammes auftraten.

Farbe des Stimulus-Lichtes

ALI (1972) berichtete in einer Studie, die mit 10 normalen, männlichen Versuchspersonen im Alter zwischen 22 und 30 Jahren durchgeführt wurde, daß die Antwort auf Photostimulation niedriger Frequenz unterschiedlich ausfiel, je nachdem, ob blaues oder rotes Licht zur Stimulation verwendet wurde. Die Stimulationsfre-

quenz war aber so niedrig, daß kein Photic Driving auftrat.

Unter dieser Bedingung zeigte sich, daß bei sehr langer Stimulation (60 Sekunden bis 8 Minuten) die Gewöhnung an den Stimulus, gemessen am Wiederauftreten des normalen Alpha-Rhythmus, bei Stimulation mit Rotlicht später auftrat und geringer ausfiel als bei Stimulation mit blauem Licht. Der Autor folgerte daraus, daß Stimulation mit Rotlicht ein vergleichsweise höheres kortikales Aktivationsniveau zur Folge hat.

Auch bei photogener Epilepsie ist bekannt, daß einige Patienten auf monochromatisches Licht, meist Rotlicht, besonders empfindlich reagieren. Dies äußert sich in Veränderungen der Wellenformen, Amplituden, Latenzzeiten und in der Veränderung topographischer Charakteristiken (Handbook of EEG and Clinical Neurophysiology, 1976)

Auf das Auftreten und die Ausprägung des Photic Driving hat nach übereinstimmender Meinung von WALTER und WALTER (1949) und GASTAUT (1949) die Verwendung farbigen Lichtes allerdings keinen Einfluß.

Weitere Faktoren, die das Auftreten von Photic Driving begünstigen oder hemmen

Begünstigung

CARELS (1962) berichtete von zwei Bedingungen, unter

denen Photic Driving verstärkt auftrat:

- Wenn unmittelbar vor Einsetzen der IPS die Augen kurz geöffnet und danach geschlossen wurden, so bewirkte dies eine Art "Blockade-Reaktion" ("Réaction d'arret"). Anschließend setzte das Photic Driving mit verringerter Latenzzeit und mit vergrößerter Amplitude ein.
- Nach Beendigung der IPS setzte im normalen Antwortablauf eine kurze Kurvenabflachung ein. Eine Wiederaufnahme der IPS in dieser Abflachungsperiode bewirkte ebenfalls eine Verringerung der Latenzzeit sowie eine Vergrößerung der Amplitude des Photic Driving.

CARELS erklärte das erstere Phänomen wie folgt:
Bei Versuchspersonen in Ruhe und mit geschlossenen Augen zeigte das Photic Driving bei Stimulationsfrequenzen über 5-6 Hz eine bedeutende Trägheit, die charakterisiert war durch eine lange Latenzzeit vom Beginn der Stimulation bis zum Auftreten des Photic Driving, durch eine langsame Vermehrung der Folgepotentiale bis zu einer maximalen Amplitude, sowie durch eine vorübergehende Persistenz des Photic Driving nach Beendigung der IPS.

CARELS erklärte diese Trägheit dadurch, daß möglicherweise durch die ersten Lichtblitze nur eine begrenzte Anzahl von Neuronen innerhalb einer subkortikalen Formation erregt wurden. Bei Fortdauer der Stimulation

erreichten immer mehr Neuronen das kritische Depolarisationsniveau. Das kurzzeitige Öffnen und Schließen der Augen könnte einen Übungseffekt haben durch Aktivierung mesenzephaler retikulärer Strukturen.

Hemmung

CARELS (1962) berichtete, daß:

- Öffnen und Schließen der Augen während der IPS bei allen Probanden zur totalen oder subtotalen Suppression des Photic Driving führten. Anschließend kam es nach kurzer Latenzzeit zu einer reaktiven Steigerung des Photic Driving.
- Bei Verwendung nichtvisueller Stimuli während der IPS kam es bei einem Teil der Versuchspersonen zu einer Depression des Photic Driving. Bei einem anderen Teil der Personen blieb dieser Effekt aus. Wenn es zu einer Depression des Photic Driving kam, trat anschließend keine Steigerung des Photic Driving auf, sondern die Depression wurde über eine sehr lange Zeit, manchmal bis zu einer Viertelstunde aufrechterhalten.

CARELS machte auch auf ein bekanntes Phänomen aktiver Inhibierung des Photic Driving aufmerksam: Ein unvorhergesehenes Geräusch oder geistige Arbeit haben einen depressiven Effekt auf das Photic Driving, der intensiver und länger anhaltend ist als z.B. Stimulation des Trigeminus oder Stimulation durch

repetitive Laute.

1.2.4 Die Altersentwicklung des Photic Driving

1.2.4.1 Photic Driving bei Neugeborenen und im Säuglingsalter

In diesem Altersbereich wurden zwei grundlegende Studien von R. ELLINGSON vorgenommen. Die erste Untersuchung (ELLINGSON 1958) wurde an 277 normalen, termingerecht geborenen Säuglingen in einem Zeitraum von 22 Minuten bis zu 125 Minuten nach der Geburt durchgeführt. Im Zeitraum der ersten sechs Lebenstage wurden weitere EEG-Ableitungen an 26 dieser Säuglinge vorgenommen.

Die zweite Studie (ELLINGSON 1960) umfasste 693 normale Säuglinge; davon waren 622 termingerecht Geborene und 71 Frühgeborene. An allen Säuglingen wurden während des ersten Lebenstages EEG-Ableitungen durchgeführt. Desweiteren wurden bei einem Teil der Untersuchungsgruppe weitere Ableitungen in einwöchigem Abstand bis zur Entlassung aus der Klinik vorgenommen.

Das Photic Driving trat unmittelbar nach der Geburt nur bei einem geringen Teil der Probanden auf; In der ersten Studie waren es von 79 Babys, bei denen IPS durchgeführt wurde, nur 2 Neugeborene (= 2,5 %); in der zweiten Studie waren es nur 5 % der 484 Neugeborenen sowie 4 % der 67 Frühgeborenen, an denen die Photostimulation durchgeführt wurde. Das Photic Driving erwies sich dabei als teilweise inkonstant; Einer der 2 Probanden, der in der ersten Studie mit Photic Driving antwortete, zeigte nur

einen minimalen Driving-Effekt in der mittleren okzipitalen Ableitung bei einer Stimulusfrequenz von 3 Hz. Das Photic Driving trat mit einer Verzögerung von 5 Sekunden nach Stimulationsbeginn auf, dauerte etwa 9 Sekunden und wurde dann von irregulären langsamen Schlafwellen abgelöst, obwohl die Stimulation noch andauerte. Das Photic Driving war in den folgenden Versuchen bei demselben Probanden nicht mehr nachweisbar.

Das zweite Neugeborene zeigte in der mittleren okzipitalen Ableitung und an den beiden seitlichen okzipitalen Elektroden Photic Driving bei den Stimulationsfrequenzen 2,5 /sec.; 3 /sec. und 3,5 /sec. Das Photic Driving erschien mit einer Verzögerung von 1 - 2 Sekunden nach Stimulationsbeginn, dauerte etwa 5 bis 7 Sekunden und wurde von irregulären langsamen Wellen gefolgt. Das Photic Driving war hier mehrfach reproduzierbar. Während in den ersten Lebenstagen nur ein geringer Prozentsatz der Probanden mit Photic Driving antwortete, steigerte sich dieser Anteil rasch: Nach zwei Wochen und darüberhinaus antworteten dem Autor zufolge 39% der Probanden mit Photic Driving.

In beiden Studien von ELLINGSON erwies sich, daß das Photic Driving nur bei niedrigen Stimulationsfrequenzen im Bereich 1,5 /sec. bis 5 /sec. auftrat. Bis zum 6. Lebensmonat fand keine signifikante Veränderung

dieses optimalen Bereichs der Stimulationsfrequenz statt:

Optimale durchschnittliche Driving-Frequenz

8. Schwangerschaftsmonat (Frühgeburten)	:	3,6 /sec.
9. Schwangerschaftsmonat (Frühgeburten)	:	4,0 /sec.
1 Woche nach Geburt (termingerecht Geborene und Frühgeburten)	:	3,7 /sec.
2. - 13. Woche nach Geburt	:	3,3 /sec.
4. - 6. Lebensmonat	:	4,3 /sec.
über 6 Monate	:	4,5 /sec.

Das Photic Driving trat nur innerhalb eines engen Frequenzbandes auf; meist konnte es bei nur einer Stimulusfrequenz ausgelöst werden. Das Photic Driving war in seiner Frequenz identisch, oder lag sehr nahe, bei der Stimulusfrequenz. Antworten in Harmonischen der Stimulusfrequenz wurden nur in Studie 2 in zwei Fällen beschrieben. Beide antworteten auf Stimuli der Frequenz 2,5 /sec. mit Photic Driving bei 5 /sec.

Die Ergebnisse der beiden Studien von ELLINGSON zeigten signifikante Unterschiede gegenüber dem Antwortverhalten im Kindes-, Jugend- und Erwachsenenalter. Der Autor interpretierte diese Unterschiede als Zeichen physiologischer Unreife vor allem zerebraler Strukturen. Darauf deuteten auch andere Befunde bei Säuglingen im Vergleich zu Erwachsenen

hin: Eine variablere Wellenform, eine variablere und oft größere Amplitude der Visuell Evozierten Potentiale (VEP), eine längere Latenzzeit zwischen dem Beginn der Stimulation und dem Einsetzen der Antwort, und eine größere "Ermüdbarkeit". Der letztere Terminus wurde für ein Phänomen eingeführt, bei dem bei längerdauernder Stimulation Säuglinge nicht auf jeden Stimulus antworteten.

Bei einigen Neugeborenen mußten 3 Sekunden oder mehr zwischen den einzelnen photischen Stimuli verstreichen, bis sie wieder mit einem VEP antworteten. Die meisten Neugeborenen waren in der Lage, auf Stimulusfrequenzen von 1 /sec. kontinuierlich zu antworten. Bei einer Frequenz von 2/sec. hingegen antwortete nur ein Neugeborenes auf jeden Lichtblitz.

Mit zunehmendem Alter veränderte sich das EEG der Säuglinge in Richtung auf das EEG der Erwachsenen. Die bedeutendsten Veränderungen waren: Abnehmende Latenzzeit und wachsende Fähigkeit, auf immer schnellere Folgen von Lichtblitzen zu antworten.

ELLINGSON (1958) setzte sich mit der Frage auseinander, welche anatomischen Strukturen für die Differenzen zwischen dem Säuglings-EEG und dem Erwachsenen-EEG verantwortlich sind. Er kam zu dem Ergebnis, daß der wesentliche Faktor der Unreife zerebraler Strukturen wahrscheinlich nicht die

Ausreifung der Retina oder der Grad der Myelinisierung des Nervus opticus ist, sondern in der Unreife des visuellen Kortex selbst zu suchen ist.

1.2.4.2 Photic Driving im Alter von 1 bis 15 Jahren

PETERSEN und EEG-OLOFSSON (1971) führten eine Querschnittsstudie an 743 normalen Kindern zwischen ein und fünfzehn Jahren durch (389 Mädchen und 354 Knaben).

Das Photic Driving in niedrigen Frequenzen (4-6 /sec.) trat vor allem in niedrigen Altersgruppen auf; eine negative Korrelation mit dem Alter wurde festgestellt.

Photic Driving im mittleren Frequenzbereich (bis 8 /sec.) wies keine Korrelation mit dem Alter auf.

Das hochfrequente Photic Driving (bis 11 /sec. und darüber) trat vor allem in höheren Altersgruppen auf. Eine positive Korrelation mit dem Alter wurde festgestellt.

Auch die relative Antworthäufigkeit des Photic Driving wies eine Altersentwicklung auf: Während im ersten Lebensjahr ca. 75 % der Probanden mit Photic Driving antworteten, zeigten 95 % der Kinder im Alter von sechs Jahren Photic Driving. Dieser hohe Prozentsatz blieb in der weiteren Altersentwicklung in etwa erhalten.

57 Versuchspersonen (9,5 %) antworteten nicht mit Photic Driving. Diese Gruppe zeigte als einzige einen signifikanten Geschlechtsunterschied: Jungen wiesen diese Variable häufiger auf ($n = 35$; $= 12,1 \%$) als Mädchen ($n = 22$; $= 7,0 \%$).

Bei einem Teil der Probanden konnte die Rhythmische Folgereaktion bei mehreren Stimulationsfrequenzen festgestellt werden:

Stimulationsfrequenzen (Hz)	Positive Antworten (Anzahl der Kinder)	
4 + 6	123 Personen	= 20,3 %
4 + 6 + 8	70 "	= 11,6 %
4 + 6 + 8 + 11	123 "	= 20,3 %
4 + 6 + 8 + 11 + 15	136 "	= 22,5 %
6 + 8 + 11 + 15	1 "	= 0,2 %
8 + 11 + 15	1 "	= 0,2 %

Bei IPS wurde zunächst mit niedrigen Stimulationsfrequenzen begonnen und im folgenden immer höherfrequente Stimuli verwendet, anschließend in umgekehrter Reihenfolge von den höherfrequenten Stimulusfrequenzen zu den niedrigerfrequenten fortgeschritten. Vier Kinder antworteten während der Stimulation in ansteigender Frequenzfolge bei höheren Stimulationsfrequenzen mit Photic Driving als bei Stimulation während absteigender Reihenfolge.

28 Kinder antworteten bei absteigender Reihenfolge mit höheren Driving-Frequenzen als bei aufsteigender Reihenfolge.

Bei allen Ableitungen konnten Antworten in Harmonischen der Stimulusfrequenz gefunden werden, vor allem in der 2. und 3. Harmonischen. 11 Kinder (1,7 %) antworteten mit Subharmonischen im Verhältnis 1:2 zur Stimulusfrequenz (9 Mädchen = 2,8 %; 2 Jungen = 0,7 %). Der Geschlechtsunterschied war signifikant.

HUGHES und CAYAFFA (1977) führten eine Studie an 420 Personen ohne organische Hirnschäden durch. In der untersuchten Gruppe waren Personen jeden Alters von 5 bis 79 Jahren vertreten. Sie wurden in Gruppen entsprechend der zugehörigen Dekade eingeteilt. Jede Dekade-Gruppe umfaßte 60 Personen; nur die beiden Gruppen der 7. und 8. Dekade bestanden aus jeweils 30 Probanden. Säuglinge und sehr junge Kinder wurden in der Untersuchung nicht berücksichtigt.

In der Altersgruppe von 5 - 9 Jahren antworteten etwa 72 % der Kinder mit Photic Driving; in der Gruppe der 10 - 19jährigen waren es ungefähr 71 %.

Die Driving-Antworten wurden von den Autoren nach ihrer Qualität beurteilt:

- 1 kein Driving
- 2 schlechte Antwort
- 3 mittlere Antwort
- 4 gutes Photic Driving

Die Kriterien der Beurteilung waren Antworthäufigkeit und Amplitude der Antworten.

In der Altersgruppe 5 - 9 Jahre zeigten

- 28 % gutes Photic Driving
- 24 % mittleres Photic Driving
- 20 % schlechtes Photic Driving

In der Altersgruppe 10 - 19 Jahre hatten

- 10 % gutes Photic Driving
- 28 % mittleres Photic Driving
- 38 % schlechtes Photic Driving

Es zeigte sich also eine Verschlechterung der Antwortqualität mit zunehmendem Alter.

1.2.4.3 Photic Driving im Jugendalter (16 - 21 Jahre)

EEG-OLOFSSON (1971) führte eine Transversalstudie an 185 Jugendlichen im Alter zwischen 16 und 21 Jahren durch. 94 Personen waren weiblich, 91 männlich.

Photic Driving trat auf

- bei niedrigen Stimulationsfrequenzen (4-6 /sec.)

n = 15 = 8,1 %

davon männlich : 6 = 6,6 %

weiblich : 2 = 2,1 %

- bei mittleren Stimulationsfrequenzen (6-8 /sec.)

n = 8 = 4,3 %

davon männlich : 6 = 6,6 %

weiblich : 2 = 2,1 %

- bei höheren Frequenzen (6-15 /sec.)

n = 103 = 55,8 %

davon männlich : 55 = 60,5 %

weiblich : 48 = 51,1 %

- bei hohen Frequenzen (20-24 /sec.)

n = 47 = 25,4 %

davon männlich : 19 = 20,9 %

weiblich : 28 = 29,8 %

- Stimulusbereich 11-24 /sec. (gesamt)

n = 150 = 81,1 %

davon männlich : 74 = 81,3 %

weiblich : 76 = 80,9 %

- kein Photic Driving

n = 9 = 4,9 %

davon männlich : 5 = 5,5 %

weiblich : 4 = 4,3 %

Die Verschiebung der Driving-Antwort in den höheren Frequenzbereich im Vergleich zu jüngeren Kindern (1 - 15 Jahre) wurde vom Autor als Reifezeichen des ZNS interpretiert.

Bei 125 Personen (68 %) kam es zum Auftreten von Photic Driving vor allem in der 2. und 3. Harmonischen der Stimulusfrequenz. Eine Versuchsperson zeigte Photic Driving in der Subharmonischen (1:2) zur Stimulusfrequenz. Die im Vergleich zu jüngeren Kindern signifikant niedrigere Bereitschaft zur Antwort in Harmonischen der Stimulusfrequenz könnte nach Ansicht des Autors ebenfalls Ausdruck fortschreitender Reifung des ZNS sein, ebenso wie das signifikant niedrigere Auftreten von Subharmonischen.

Im Gegensatz zur Untersuchung, die die Autoren bei Kindern im Alter zwischen 1 und 15 Jahren durchgeführt hatten, konnte im Altersbereich 16 bis 21 Jahre keine Geschlechtsdifferenz bei der Antwortbereitschaft des Photic Driving festgestellt werden.

Bei 53 Personen (28,6 %) trat bei IPS Aktivität niedriger Frequenz auf. Es bestand ein signifikanter Zusammenhang zwischen dieser Aktivität und der Driving-Antwort in niedriger Frequenz. Auch dies könnte nach Meinung des Autors Ausdruck der (in diesem Fall mangelnden) Hirnreifung sein.

Auf die in der Studie von HUGHES und CAYAFFA (1977) festgestellte leichte prozentuale Abnahme der Driving-Antwort und die Verschlechterung der Antwortqualität in der Altersgruppe 10 bis 19 Jahre wurde bereits hingewiesen.

1.2.4.4 Photic Driving im Erwachsenenalter

HUGHES und CAYAFFA (1977) stellten eine Zunahme der Bereitschaft, mit Photic Driving zu antworten, mit einem Maximum in der Altersgruppe 40 - 49 Jahre fest. In dieser Altersgruppe wiesen fast 90 % der Probanden Photic Driving auf. Diese Antwort war durchschnittlich von besserer Qualität als im Kindes- und Jugendalter:

gute	Qualität	:	ca. 35 %
mittlere	"	:	ca. 25 %
schlechte	"	:	ca. 25 %

Im weiteren Verlauf kam es zu einem deutlichen Abfall der Bereitschaft mit Photic Driving zu antworten. Die 60-69Jährigen wiesen eine Antwortbereitschaft von etwas über 70 % auf, während in der Altersgruppe 70-79 Jahre nur mehr etwas über 50 % der Probanden mit Photic Driving antworteten. Auch die durchschnittliche Qualität der Antworten ließen also nach. Sowohl die Antwortbereitschaft als auch die Qualität der Driving-Antwort lagen noch unter dem Niveau des Kindes- und Jugendalters.

1.3 Die Entwicklung der dominanten Grundfrequenz im Kindes- und Jugendalter

BERGER berichtete 1932 erstmals von EEG-Ableitungen im Säuglingsalter und im frühen Kindesalter. An 17 gesunden Kindern im Alter zwischen 8 Tagen und 5 Jahren wurden Hirnstromableitungen über der Stirn und dem Hinterhaupt vorgenommen.

Während sich bei sechs Kindern, die zwischen 8 und 13 Tage alt waren, keine EEG-Aktivität nachweisen ließ, gelang dies erstmals bei einem 35 Tage alten Jungen sowie bei allen Kindern, die älter als 2 Monate waren. Bereits im EEG des 35 Tage alten Säuglings fanden sich in der EEG-Aktivität während des Einschlafens charakteristische langsame Wellen niedriger Amplitude. Derselbe Wellentyp ließ sich bei allen älteren Kindern deutlich nachweisen, wobei die Frequenz und die Amplituden dieser Wellen bis zum 5. Lebensjahr zunahmen. Die Zunahme der Frequenz erfolgte jedoch nicht linear, sondern in Schwankungen. Ab dem 5. Lebensjahr erreichten die Wellen Frequenzen, wie BERGER sie im EEG von Erwachsenen nachgewiesen hatte. BERGER nahm an, es handele sich bei den von ihm beobachteten Wellen um die Alpha-Wellen des Erwachsenen-EEG, jedoch mit einer größeren Wellenlänge. Er äußerte die Vermutung, daß Zusammenhänge zwischen der beobachteten Entwicklung des frühkindlichen EEG und Hirnreifungsvorgängen in diesem Alter bestehen.

Weitere grundlegende Arbeiten zur Entwicklung des EEG im Kindes- und Jugendalter wurden von LINDSLEY (1936, 1938), SMITH (1937) und BERNHARD und SKOGLUND (1939) veröffentlicht.

LINDSLEY (1938) untersuchte 75 Erwachsene im Alter von 17 bis 64 Jahren und 256 Kinder zwischen dem ersten Lebensmonat und dem 16. Lebensjahr. Er unterzog die Elektroenzephalogramme einer visuellen Analyse. Die EEG-Aktivität wurde nach dem Vorkommen rhythmischer Wellenfolgen abgesucht. LINDSLEY unterteilte die Aktivität in fünf "Wellentypen". Diese unterschieden sich voneinander in ihrer Frequenz, der Lokalisation ihres Auftretens, in den Bedingungen, unter denen sie auftraten (je nachdem, ob ein Proband wach, schläfrig oder schlafend war), sowie in der Beeinflussbarkeit durch sensorische oder emotionelle Stimuli.

Während der ersten beiden Lebensmonate war nur unregelmäßige Aktivität im EEG nachweisbar. Mit dem Beginn des dritten Lebensmonats begann sich über der Okzipitalregion eine wellenförmige rhythmische Aktivität herauszubilden, die bald das EEG dieser Hirnregion dominierte und zum "herausragenden Teil des okzipitalen EEG" wurde. LINDSLEY bezeichnete die rhythmische Aktivität, wie vor ihm BERGER, als "Alpha-Rhythmus".

Alle Kinder, die älter als drei Monate waren, zeigten solche Wellen, allerdings schwankte der prozentuale

Anteil dieser Wellen am Gesamt-EEG von Proband zu Proband in weiten Grenzen.

LINDSLEY unterteilte die Kinder und Jugendlichen in Altersgruppen und verglich die Durchschnittswerte der Frequenz, des prozentualen Anteils am Gesamt-EEG, und der Regularität des Rhythmus.

Im Verlauf der ersten drei Lebensjahre war eine sehr rasche Zunahme des Durchschnittswertes der Frequenz der dominierenden rhythmischen Aktivität zu beobachten:

<u>Alter</u>	<u>Frequenz (Hz)</u>
6 Monate	4,7
9 Monate	5,5
12 Monate	6,0
2 Jahre	7,1
3 Jahre	7,5

Im weiteren Verlauf stieg die durchschnittliche Frequenz weniger rasch und relativ gleichmäßig an, bis sie im Alter von 11 Jahren die Durchschnittswerte des Erwachsenen-EEG erreichte (10,2 Hz bei einer Schwankungsbreite zwischen 8 und 13 Hz).

Auch Verlaufsuntersuchungen des EEG bei einzelnen Probanden über mehrere Jahre bestätigten die beschriebene Frequenzentwicklung. Die Regelmäßigkeit des Rhythmus nahm mit dem Alter zu, ebenso die Gleichförmigkeit von Größe und Form der Wellen.

In derselben Studie wurden Zusammenhänge zwischen dem

"Wachstum der Alpha-Frequenz" (LINDSLEY) und verschiedenen Parametern des Wachstums von Kindern und Jugendlichen untersucht. Während sich eine gute Korrelation zum Anwachsen des Hirngewichts feststellen ließ, ließ sich eine derartige Korrelation für andere Parameter wie Alter, Körpergewicht, aber auch geistiger Entwicklungsstand und Intelligenz, nicht nachweisen. Die Ergebnisse LINDSLEYS bezüglich der Frequenzentwicklung der dominierenden rhythmischen Aktivität in der Okzipitalregion wurden durch die Arbeiten von SMITH, BERNHARD und SKOGLUND im wesentlichen bestätigt. GARSCHKE (1953, 1954) legte seinen Arbeiten zur Altersentwicklung des EEG eine heute allgemein gebräuchliche Einteilung der EEG-Aktivität zugrunde, deren Hauptkriterium die Frequenz der jeweiligen Aktivität ist. Demnach wurden unterschieden:

	<u>Frequenz (Hz)</u>	<u>Bezeichnung</u>
1.	0,5 - 3	Delta
2.	4 - 7	Theta
3.	8 - 13	Alpha
4.	14 - 30	Beta
5.	31 - 60	Gamma

(nach GARSCHKE, 1954)

Nach dieser Einteilung ergab sich folgendes Bild:
Mit Ausnahme des Neugeborenenalters waren jeweils Wellen eines bestimmten Frequenzbereichs vorherrschend, "domi-

nant", während die anderen Bereiche in den Hintergrund traten, "subdominant" waren. Dabei lösten sich nacheinander Wellen des Delta-, Theta- und Alpha-Bereiches als dominante Frequenz ab. Jedoch geschah dies nicht kontinuierlich, sondern mit Überschneidungen über längere Zeiträume, oft über Jahre. Auch die Lokalisation des Auftretens und das Maximum der Ausprägung waren für einzelne Frequenzbereiche verschieden.

Zu Beginn des Auftretens von Wellen eines bestimmten Frequenzbereiches lag die Frequenz der Wellen gewöhnlich im unteren Bereich dieses Frequenzbandes; die Variationsbreite, innerhalb der die Frequenz beim einzelnen Kind schwankte, war groß; die Wellenform unregelmäßig. Mit zunehmender Ausprägung des Frequenzbereiches nahm die durchschnittliche Frequenz der Wellen dieses Bereiches zu, die Variationsbreite nahm ab, die Wellenform wurde regelmäßiger.

Insgesamt nahm die Tendenz zur Rhythmusbildung mit dem Alter der Kinder zu. GARSCHÉ bezeichnete sie als "werdende Funktion".

Der Zeitpunkt, zu dem sich bestimmte Entwicklungsschritte im kindlichen EEG vollzogen, war von Kind zu Kind sehr verschieden. GARSCHÉ nannte die Variabilität ein typisches Kennzeichen des kindlichen EEG. Auch erwies sich das EEG im Kindesalter als besonders beeinflussbar sowohl durch äußere Reize als auch durch emotionale Faktoren (Labilität).

Unmittelbar nach der Geburt und während der ersten Lebenswochen bot das EEG ein völlig unregelmäßiges Bild. GARSCHKE charakterisierte es als "arhythmisch, aphasisch und inkonstant". Von Anfang an waren Wellen des Delta-, Theta- und Alpha-Frequenzbereiches nachweisbar, jedoch überwogen langsame Wellen des Delta-Frequenzbandes. Ihre Frequenz schwankte zwischen 0,5 und 2 Hz. Die EEG-Aktivität wurde durch Strecken niedriger Spannungsproduktion unterbrochen.

Gegen Ende des zweiten Lebensmonats war Delta-Aktivität über allen Ableitungen dominant. Die Wellen wurden regelmäßiger, eine Tendenz zur Rhythmusbildung war erkennbar. Ihre Frequenz nahm auf 2 - 3 Hz zu.

Etwa zur selben Zeit traten Theta-Wellen in den mittleren Ableitungen als subdominante Aktivität in Erscheinung. Ihr Anteil am gesamten EEG-Bild nahm zuerst über den mittleren Hirnregionen, später auch über den okzipitalen und frontalen Ableitungen zu. Sie verdrängten zunehmend die Delta-Aktivität. Zwischen dem 12. und 18. Lebensmonat wurden Theta-Wellen zunächst über den mittleren Hirnabschnitten, später auch okzipital zur dominanten Frequenz. Vom 18. Lebensmonat an hatte Theta-Aktivität die Delta-Wellen schließlich auch in den frontalen Ableitungen als dominante Frequenz verdrängt und dominierte nun in allen Ableitungen. Die Frequenz der Theta-Wellen stieg von 4 - 7 Hz im 5. Lebensmonat, auf 5 - 7 in der

Mitte des 2. Lebensjahres und auf 6 - 7 Hz im 3. und 4. Lebensjahr.

Alpha-Wellen, die vorübergehend bereits zwischen dem 4. und 5. Lebensmonat sehr unregelmäßig und mit einer Frequenz von 8 - 9 Hz über den okzipitalen Ableitungen aufgetreten waren, wurden in der Okzipitalregion im 3. und 4. Lebensjahr subdominant und verdrängten bis zum 6. Lebensjahr zunächst vor allem okzipital, später auch parietal zunehmend die Theta-Aktivität, sodaß beide Frequenzbereiche um das 5. Lebensjahr ungefähr in gleicher Häufigkeit, jedoch mit unterschiedlicher topischer Verteilung vertreten waren: Das Maximum der Alpha-Aktivität lag über den okzipitalen, das der Theta-Wellen über den mittleren Ableitungen.

Ungefähr zu Beginn des 6. Lebensjahres wurden Alpha-Wellen zur dominanten Frequenz. Sie wiesen jedoch zwischen dem 6. und 10. Lebensjahr einige Besonderheiten auf:

- Alpha-Wellen waren zwar dominant, Theta-Wellen und Delta-Wellen jedoch noch subdominant. So bildeten die Alpha-Wellen noch keine kontinuierliche Wellenfolge, sondern wurden durch eingestreute Wellen anderer Frequenzbereiche unterbrochen bzw. überlagert.
- Die Frequenz der Alpha-Wellen zeigte noch keine individuelle Konstanz (s.u.), sondern wies Schwankungen innerhalb des Frequenzbereichs bei ein und demselben Individuum auf. Zusammen mit unregelmäßigen Schwankungen

der Amplituden ergab sich ein zunächst noch unregelmäßiges Bild der Alpha-Aktivität.

Die Frequenz der Alpha-Wellen stieg auf 8 - 10 Hz ungefähr um das 10. Lebensjahr an.

Die Häufigkeit der Theta-Wellen nahm vom 6. - 10. Lebensjahr bei gleichbleibender topischer Verteilung weiter ab. In den zentralen und parietalen Ableitungen erfolgte die Ablösung der Theta-Aktivität durch Alpha-Wellen langsamer als in der Okzipitalregion. In den frontalen Arealen zeigte sich eine Mischung aus Theta- und Alpha-Wellen mit eingestreuter Delta-Aktivität.

Zwischen dem 10 und dem 14. Lebensjahr nahmen die Schwankungen von Frequenz und Amplitude der Alpha-Wellen immer mehr ab, Theta-Aktivität wurde zunehmend zurückgedrängt und verschwand völlig aus den okzipitalen Ableitungen. Hier wurde der Alpha-Rhythmus schließlich nicht mehr durch Wellen eines anderen Frequenzbereichs unterbrochen und erschien nun kontinuierlich. Seine Durchschnittsfrequenz betrug ca. 10 Hz bei einer interindividuellen Schwankungsbreite von 8 - 13 Hz.

Um das 14. Lebensjahr bildete sich ein für das jeweilige Individuum konstanter Wert der Frequenz des Alpha-Rhythmus heraus, ein "individuelles Merkmal" (GARSCHKE) für das weitere Leben. Dieser individuelle Eigenrhythmus lag meist um 10 Hz, nur selten bei anderen Frequenzen des Alpha-Bereiches. Damit war die Entwicklung des EEG

zum Hirnstrombild des Erwachsenen weitgehend abgeschlossen.

ELLINGSON (1958) führte EEG-Ableitungen an 277 gesunden, termingerecht geborenen Neugeborenen durch.

Wie schon in früheren Arbeiten beschrieben, herrschte sowohl unter Wach- als auch unter Schlafbedingungen langsame Aktivität vor, am ausgeprägtesten in den zentralen Ableitungen. Rhythmische Aktivität war meist nur spärlich vorhanden, bei einigen Neugeborenen jedoch schon deutlich nachweisbar, meist im Frequenzbereich zwischen 4 und 8 Hz. In einigen Fällen fand sich spindelförmige Aktivität zwischen 10 und 14 Hz, allerdings mit niedriger Amplitude. Mittlere und schnelle Beta-Aktivität war sowohl im Wachen als auch während des Schlafs nachweisbar.

Im Gegensatz zu früheren Untersuchern berichtete ELLINGSON von deutlichen Unterschieden zwischen Wach- und Schlaf-EEG bereits in diesem Alter.

Die Untersuchungen von DREYFUS-BRISAC (1956) beruhten auf EEG-Ableitungen an 3500 Kindern im Alter unter drei Jahren. Vor allem wurden neue Erkenntnisse über die Entwicklung des EEG bei Frühgeborenen gewonnen.

Bereits bei Frühgeborenen an der Grenze der Lebensfähigkeit im IV. und V. Fetalmonat ließ sich - mit Ausnahme sterbender Kinder - immer EEG-Aktivität nachweisen.

"Anfallsartige" Muster wechselten in unregelmäßigen Abständen mit Strecken geringer Spannungsproduktion. Es

bestand völlige bilaterale Asynchronie. Es war nicht möglich, zwischen Wach- und Schlaf-EEG zu differenzieren. Eine Reaktion auf Reize konnte im Hirnstrombild nicht oder nur in geringem Ausmaß festgestellt werden.

Zwischen dem V. und VII. Fetalmonat fand eine rasche Entwicklung des EEG statt: Bei Frühgeborenen im VI. Monat zeigten sich Sequenzen von ungefähr einer Sekunde Dauer, die sich synchron über verschiedenen Punkten derselben Hemisphäre ableiten ließen und eine Frequenz von ca. 5 Hz hatten. Bis zum VII. Fetalmonat nahm die Asynchronie beider Hemisphären bedeutend ab, ebenso die Strecken geringer Spannungsproduktion. Über beiden Hemisphären bildete sich eine räumliche Organisation des EEG-Bildes heraus. In allen Ableitungen mit Ausnahme der frontalen Regionen traten langsame Wellen mit einer Frequenz von ca. 1 Hz auf, die von schnellen Wellen mit einer Frequenz von 10 - 14 Hz überlagert waren. Im VIII. Fetalmonat waren die Strecken geringer Spannungsproduktion verschwunden, das EEG zeigte ein kontinuierliches Bild. Vorherrschend waren Wellen mit einer Frequenz von 4 - 8 Hz, ohne daß jedoch ein Frequenzbereich eindeutig dominierte. Eingestreut waren über der Okzipitalregion Ausbrüche schneller Wellen (10 - 12 Hz). Im 3. Lebensmonat bildete sich eine topographische Gliederung der EEG-Aktivität heraus.

Rhythmische Wellen mit einer Frequenz von 2 - 4 Hz traten auf. Sie wurden bis zum 5. Monat regelmäßiger, ihre Frequenz nahm auf 4 - 5 Hz zu.

DREYFUS-BRISAC betonte, daß der Zeitpunkt wichtiger Entwicklungsschritte des Frühgeborenen- und Neugeborenen-EEG mit bedeutenden Schritten der stato-motorischen Entwicklung des Kindes zusammenfalle: Verlust der muskulären Hypotonie, Verlust der Primärreflexe, aktive Kontrolle der Kopfhaltung, Greifen mit den Händen usw. PETERSEN und EEG-OLOFSSON (1971) führten eine Untersuchung an 743 normalen Kindern (389 Jungen und 354 Mädchen) im Alter zwischen 1 und 15 Jahren durch. An das Kriterium der "Normalität" wurden sehr hohe Anforderungen gestellt. Ziel der Studie war es, Zusammenhänge zwischen dem EEG, der Altersentwicklung und dem Geschlecht der Probanden zu untersuchen.

Im Ruhe-EEG lag der Mittelwert der Alpha-Frequenz bei 9,3 Hz mit einer Standardabweichung von 0,8 Hz. Die Alpha-Frequenz wuchs mit dem Alter linear an. Im Alter von 7 Jahren wurde ein Mittelwert von 9 Hz, mit 15 Jahren von 10 Hz erreicht. Mädchen zeigten dabei bis zum Alter von 11 Jahren signifikant höhere Alpha-Frequenzen als Jungen.

Der Anteil niederfrequenter rhythmischer und nicht-rhythmischer Aktivität des Delta- und Theta-Frequenzbereiches wurde geschätzt und die zu beurteilenden Elektroenzephalogramme eingeteilt in solche mit

1. "geringem" Anteil niedriger Frequenzen (bzw. extrem alpha-dominierten Ableitungen)
2. "normalem" Anteil niederfrequenter Aktivität im Verhältnis zum Alter und zur topographischen Verteilung
3. "leicht vergrößertem" Anteil (10 - 30 % der gesamten EEG-Aktivität)
4. "mäßig erhöhtem" Anteil niedriger Frequenzen.

Nur 6 Fälle waren der ersten Gruppe zuzuordnen. Bei 85% der Kinder fand sich ein "normaler" Anteil an Aktivität niedriger Frequenz. Dabei war jenseits des 8. Lebensjahres der Anteil der Jungen signifikant höher als der der Mädchen. "Mäßig erhöht" war der Anteil niedriger Frequenzen bei 1,3 % der Kinder. (Bei einem Teil der EEG's wurde zusätzlich eine automatische Analyse durchgeführt, die die oben genannten Resultate bestätigte). PETERSEN und EEG-OLOFSSON interpretierten die oben beschriebenen Geschlechtsunterschiede als Ausdruck einer früheren Hirnreifung bei Mädchen.

Eine weitere Untersuchung führte EEG-OLOFSSON (1971) an 185 normalen Adoleszenten im Alter zwischen 16 und 21 Jahren durch (94 Mädchen , 91 Jungen). Die Alpha-Frequenz variierte zwischen 8 und 12 Hz mit einem Mittelwert von 10,2 Hz. (Mädchen 10,3 Hz, Jungen 10,2 Hz). Der Geschlechtsunterschied war in diesem Altersbereich nicht signifikant. Der Anteil niederfrequenter rhythmischer und nichtrhythmischer Aktivität ging zurück: nur

9 Probanden zeigten einen "leicht" oder "mäßig" vergrößerten Anteil niederfrequenter Aktivität, weibliche Personen signifikant häufiger als Jungen.

Mit der Einführung der elektronischen Datenverarbeitung in die Analyse des EEG eröffneten sich neue Möglichkeiten der EEG-Auswertung.

Während man sich zunächst analoger Verfahren bediente (GIBBS und KNOTT 1949; CORBIN und BICKFORD 1954), wurde später auf der Basis digitaler Signalverarbeitung die Spektralanalyse verwendet. Mit der Entdeckung des Fast-Fourier-Algorithmus und durch erweiterte computertechnische Möglichkeiten fanden spektralanalytische Verfahren breite Anwendung.

In theoretischer Hinsicht wurden neue Einblicke in den Generierungsprozeß des EEG gewonnen: Es konnte gezeigt werden, daß von Geburt an neben Frequenzkomponenten des Delta-Frequenzbandes auch solche des Theta- und Alpha-bandes vorhanden sind, die der visuellen Analyse infolge Überlagerung durch niederfrequente Wellen oft entgingen (GIBBS und KNOTT 1949). Weiter zeigte sich, daß die Frequenzbänder des Delta-, Theta- und Alpha-Bereichs voneinander unabhängige Altersentwicklungen durchliefen (GIBBS und KNOTT 1949; CORBIN und BICKFORD 1954). Auch der Einfluß genetischer Faktoren auf das EEG konnte genauer untersucht werden (DUMERMUTH 1965).

Mithilfe automatischer Analyseverfahren war es auch

möglich, unabhängig von subjektiven Einflüssen seitens des EEG-Beurteilers quantitative Daten der Altersentwicklung mit erheblich größerer Präzision aufzustellen (MATOUSEK und PETERSEN 1973; SAMSON-DOLLFUS und GOLDBERG 1979; JOHN und Mitarb. 1980; SADOWSKY und Mitarb. 1983). Letztlich lieferte die automatische Analyse bei der Abschätzung des Alters anhand des EEG genauere Ergebnisse als die visuelle Auswertung (SADOWSKY und Mitarb. 1983).

2. Hauptteil

2.1 Beschreibung des Untersuchungsgutes

2.1.1 Gesamtstichprobe

Das Institut für Soziale Pädiatrie und Jugendmedizin der Universität München und das MEDIS-Institut für Medizinische Informatik und Systemforschung der GSF (Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung, München) führten seit 01.01.1970 das Vorhaben

"Münchner Pädiatrische Längsschnittstudie -
Früherkennung entwicklungsgefährdender
Störungen mittels Vorsorgeuntersuchungen"
durch.

Bestandteil der Münchner Pädiatrischen Längsschnittstudie war seit 01.01.1972 das Teilvorhaben

"Visuelle und automatische Analyse des
Elektroenzephalogramms im frühen Kindes-
alter zur Früherkennung hirnorganischer
Schäden".

Die Stichprobe für das Gesamtvorhaben der Münchner Pädiatrischen Längsschnittstudie setzte sich zu Beginn aus 1660 Neugeborenen zweier Münchner Frauenkliniken zusammen.

Für die Aufnahme in die Längsschnittstudie mußten mehrere Bedingungen erfüllt sein:

- Zur Vereinheitlichung der Untersuchungsbedingungen und der Datenerfassung blieb die Studie auf Neuge-

borene beschränkt, die in Kliniken geboren wurden. Da zum Zeitpunkt der Untersuchungen ca. 95 % aller in der Bundesrepublik Deutschland geborenen Kinder in einer Klinik zur Welt kamen, war durch diese Beschränkung keine Minderung der Aussagefähigkeit der Studie zu erwarten.

- Zumindest ein Elternteil mußte die deutsche Staatsangehörigkeit besitzen.
- Das Kind durfte kein schweres Mißbildungssyndrom aufweisen.
- Die Eltern des Kindes mußten sich bereiterklären, daß ihr Kind zusätzlich zur Neugeborenenuntersuchung an weiteren Untersuchungen innerhalb der folgenden fünf Jahre teilnehmen sollte.

Die letztere Bedingung hatte (ähnlich wie in den Studien von EEG-OLOFSSON und PETERSEN 1971 und EEG-OLOFSSON 1971) zur Folge, daß höhere Schichten im Vergleich zur unteren Mittelschicht und zur Unterschicht überrepräsentiert waren. Ebenfalls überproportional vertreten waren ältere Erstgebärende gegenüber jüngeren Erstgebärenden. Ledige Mütter zeigten eine vergleichsweise geringere Bereitschaft zur Teilnahme an der Längsschnittstudie. Kinder mit Untergewicht, schwerer Asphyxie und Komplikationen im Neugeborenenalter waren ebenfalls unterrepräsentiert.

2.1.2 Art und Umfang der klinischen Untersuchungen

Es wurden folgende Untersuchungen durchgeführt:

- Neurologische, somatische und motoskopische Untersuchungen nach einem standardisierten Schema
- Standardisierte Untersuchungen der intellektuellen und psychomotorischen Entwicklung
- Beurteilung von Verhalten und Mitarbeit während der Untersuchung.

Die Untersuchungen fanden statt:

- im Neugeborenenalter am 4. oder 5. Lebenstag
- mit 6 und 12 Monaten sowie mit dem vollendeten 2., 3., 4. und 5. Lebensjahr.

Außerdem wurden die Ergebnisse der klinischen Untersuchung ergänzt durch die Erhebung anamnestischer Daten zu folgenden Bereichen:

- Die Eltern wurden in die Verhaltens- und Entwicklungsbeobachtung einbezogen. In Entwicklungsbeobachtungshefte und in einem Verhaltensfragebogen sollten die Eltern Beobachtungen über die Entwicklung und das Verhalten des Kindes eintragen.
- Die familiäre Situation, der Schwangerschafts- und Geburtsverlauf, Krankheiten, Sozialstatus und Pflegebedingungen wurden über einen standardisierten Anamnesebogen erfragt.
- Ebenfalls über einen standardisierten Fragebogen wurde versucht, die Erziehungseinstellung der Eltern zu erfassen.

2.1.3

Teilstichprobe EEG-Untersuchungen

Es wurden im Rahmen der "Münchener Pädiatrischen Längsschnittstudie" die personellen und apparativen Voraussetzungen geschaffen, um bei einer unausgelesenen Teilmenge der Gesamtgruppe mit einem Umfang von ca. 500 Probanden entsprechende EEG-Ableitungen vornehmen zu können.

Bei der Konzeption der EEG-Studie wurde davon ausgegangen, daß in einer unausgelesenen Population bei ungefähr 10-15 % der Probanden eines Jahrgangs Störungen des Nervensystems vorliegen würden.

Ein Teil der Untersuchungen der vorliegenden Arbeit wurde an gesunden Kindern durchgeführt. Dazu wurde aus der Gesamtgruppe der Kinder, an denen EEG-Untersuchungen vorgenommen werden sollten, ein Normalkollektiv zusammengestellt. Kinder, die in diese Normalgruppe aufgenommen wurden, mußten in Anlehnung an die Auswahlkriterien, die EEG-OLOFSSON und PETERSEN 1971 bei der sogenannten Göteborger EEG-Studie aufgestellt hatten, folgende Bedingungen erfüllen:

1. Die pränatale und perinatale Entwicklung sowie der Neugeborenen-Befund mußten unauffällig gewesen sein.
2. Es durften keine Bewußtseinsstörungen innerhalb des Beobachtungszeitraums aufgetreten sein.
3. Es durften keine Schädelverletzungen mit zerebralen Symptomen aufgetreten sein.

4. Das Kind durfte keine Erkrankungen des ZNS aufweisen (z.B. metabolische Erkrankungen mit Beteiligung des ZNS, heredo-degenerative Erkrankungen des ZNS, Meningoenzephalitiden etc.)
5. Zum Zeitpunkt der Untersuchung mußten die Probanden frei von offensichtlichen körperlichen Erkrankungen sein, wie z.B. Kinderkrankheiten (Keuchhusten, Röteln, Masern, Windpocken), hochfieberhaften Infekten oder schweren Gastroenteritiden.
6. Es durften in der Vergangenheit keine Krampfanfälle (einschließlich Fieberkrämpfen) aufgetreten sein. Ebenso mußte die Familienanamnese frei von epileptischen Erkrankungen sein.
7. Paroxysmale Kopfschmerzen oder Bauchschmerzen waren ebenfalls ein Ausschlußgrund.
8. Es durfte weder eine sekundäre Enuresis noch eine über das 4. Lebensjahr hinausreichende Enkopresis vorhanden sein.
9. Die Probanden durften keine Verhaltensstörungen aufweisen, wie Autoaggressionen, Ticks, Stottern oder Pavor nocturnus.
10. Es durften keine geistigen oder psychomotorischen Entwicklungsstörungen vorliegen.
11. Die Kinder durften keine minimalen zerebralen Dysfunktionen -einschließlich des sogenannten Hyperaktivitätssyndroms - aufweisen.

Wenn Auffälligkeiten bei nur einer der sieben klinischen Untersuchungen auftraten, führte dies zum Ausschluß aus dem Normalkollektiv. Die EEG's solcher Kinder wurden gesondert ausgewertet.

Bei diesem Vorgehen gingen die Untersucher von der Annahme aus, daß z.B. ein psychomotorischer Entwicklungsrückstand, der möglicherweise mit einer retardierten EEG-Entwicklung einhergeht, im Laufe der nächsten Jahre aufgeholt werden kann bzw. nicht mehr nachgewiesen werden kann, während die EEG-Anormalitäten persistieren. In einem solchen Fall käme es zu einer Verfälschung der zu ermittelnden Normwerte der Normalgruppe.

Das Normalkollektiv setzte sich aus 224 Kindern im Alter zwischen einem halben und dem fünften Lebensjahr zusammen. Diese Gruppe wird im folgenden als Gruppe 1 bezeichnet. Bei 149 dieser Kinder wurde die Photostimulation durchgeführt.

Außerdem wurden die Untersuchungsergebnisse zweier weiterer Probandenkollektive ausgewertet:

- einer Gruppe von Kindern, die ein Hyperaktivitätssyndrom oder andere Verhaltensauffälligkeiten aufwiesen. Da die Fallzahl im Säuglingsalter und im Kleinkindalter bis zum 3. Lebensjahr zu gering für aussagekräftige Untersuchungen waren,

wurde die Auswertung auf Kinder im 4. und 5. Lebensjahr beschränkt. Diese Gruppe umfaßte 103 Kinder. Sie wird im folgenden als Gruppe 2 bezeichnet. Bei 96 Kindern dieser Gruppe wurde die IPS durchgeführt.

- Einer Gruppe von Kindern, die neurologische Krankheitsbilder, Entwicklungsrückstände und zerebrale Dysfunktionen aufwiesen. Hierunter fielen vor allem Kinder mit epileptischen Erkrankungen, Teilleistungsstörungen, Sprachentwicklungsrückständen, psychomotorischen Entwicklungsrückständen und verschiedenen Lernbehinderungen. Auch in dieser Gruppe wurde die Auswertung der EEG-Ableitungen wegen der zu geringen Fallzahlen in niedrigeren Altersstufen auf Kinder im 4. und 5. Lebensjahr beschränkt. Diese Gruppe umfaßte 106 Kinder und wird im folgenden als Gruppe 3 bezeichnet. Bei 94 dieser Kinder wurde die Photostimulation durchgeführt.

Schließlich wurden die EEG-Ableitungen von drei monozygoten Zwillingspaaren aus dem Normalkollektiv (Gruppe 1) gesondert ausgewertet.

2.2 Untersuchungsmethoden

2.2.1 Allgemeine Bedingungen

Für die EEG-Ableitungen einschließlich der Photostimulation wurden folgende Geräte verwendet:

- Minograph Elema Schönander (SIEMENS)
- Bandgerät Ampex PR 500
- Time-Code Generator 8120 Systron Donner
- Oszillograph PM 3231 (PHILLIPS)
- Strobotest 1, Typ Z 10/95 (SCHWARZER)

Es wurden sowohl bipolare als auch unipolare Ableitungen durchgeführt. Die bipolaren Ableitungen entsprachen dem Ten-Twenty-System mit folgenden

Elektrodenpositionen:

Kanal 1 : $F_4 - C_4$

Kanal 2 : $P_4 - O_2$

Kanal 3 : $F_3 - C_3$

Kanal 4 : $P_3 - O_3$

Kanal 5 : $T_4 - T_6$

Kanal 6 : $T_3 - T_5$

Kanal 7 : EKG

Auch unipolare Ableitungen wurden - gegen eine Referenzelektrode (linkes Ohr) - durchgeführt:

- zwei parietale
- zwei okzipitale
- zwei temporale Ableitungen

Zur Auswertung wurden für die vorliegende Arbeit die bipolaren Ableitungen über den parieto-okzipitale Hirnarealen herangezogen. Die unipolaren Ableitungen dienten lediglich zur Kontrolle bei auffälligen Befunden.

Alle Ableitungen fanden ohne die Verwendung von Medikamenten statt, um sicher zu gehen, daß keine medikamentös bedingten EEG-Veränderungen auftreten konnten. Daß tatsächlich keine Medikamenteneinnahme erfolgte, wurde durch die Befragung der Eltern kontrolliert.

Während akuter Erkrankungen (z.B. Kinderkrankheiten oder fieberhafte Infekte) wurden keine EEG-Ableitungen durchgeführt. Die Kontrolle dieser Bedingung wurde durch die Anamnese sowie klinische Untersuchung unmittelbar vor der EEG-Untersuchung sichergestellt.

Während der EEG-Ableitungen wurde das Verhalten der Probanden beobachtet und registriert. Als Grundlage diente hierbei die Einteilung der Vigilanzstadien nach PRECHTL (1974), die im folgenden tabellarisch

wiedergegeben wird:

Tabelle 1: Vigilanzstadien nach PRECHTL

Vigilanz- stadium	Verhaltensweise des Kindes
Stadium 1	unruhig, weinend bzw. Schreiend Augen offen oder geschlossen
Stadium 2	unruhig, Augen offen
Stadium 3	ruhig, Augen offen
Stadium 4	ruhig, Augen geschlossen
Stadium 5	REM- Schlaf
Stadium 6	non-REM-Schlaf

Tabelle 1: Definition der Vigilanzstadien (States)
nach PRECHTL. REM = rapid eye movement;

Bis zur Vollendung des 3. Lebensjahres wurde vor-
wiegend im Stadium 3 abgeleitet; nur bei wenigen

Probanden konnten bei guter Kooperation Ableitungen im Stadium 4 vorgenommen werden. Im 4. und 5. Lebensjahr wurden regelmäßige Ableitungen in beiden Vigilanzstadien durchgeführt; allerdings waren nicht alle Ableitungen des Stadiums 4 verwertbar.

Die Dauer der EEG-Ableitungen bewegte sich je nach Verhalten des Kindes zwischen 20 und 30 Minuten.

Gleichzeitig mit den EEG-Ableitungen wurde ein EKG sowie ein Zeit-Code mitgeschrieben.

Alle EEG-Ableitungen wurden auf ein Analogband aufgezeichnet. Ausgewertet wurde jeweils eine artefaktfreie EEG-Epoche von 60 Sekunden Dauer. Diese sollte möglichst aus einem zusammenhängenden Stück bestehen; jedoch konnten auch maximal sechs 10-sek-Stücke zusammengesetzt und ausgewertet werden.

Die EEG-Epochen wurden anhand eines standardisierten EEG-Auswertungsbogens visuell ausgewertet (sh. Anhang).

Am Ende dieser Auswertung wurden die EEG-Ableitungen befundet als

- "normales EEG"
- "EEG mit Auffälligkeiten ohne sicher pathologische Bedeutung"
- "pathologisches EEG"

2.2.2 Photostimulation

Im Anschluß an die Aufzeichnung des Ruhe-EEG's wurde bei Kindern ab der Vollendung des 1. Lebensjahres die Photostimulation durchgeführt. Dabei wurden in absteigender Reihenfolge Einzelblitzserien in den Frequenzen 25/sek, 15/sek, 12/sek, 9/sek, 6/sek, und 3/sek durch das Stroboskop abgegeben.

Jede Serie von Lichtblitzen einer bestimmten Frequenz dauerte 7 Sekunden. Zwischen den einzelnen Lichtblitzserien lagen Intervalle von jeweils 13 Sekunden.

Der Abstand zwischen Auge und Stroboskop betrug 20 cm, die Lichtquelle besaß eine Energie von 0,375 Joule.

2.2.3 Auswertung Photostimulation

Um visuell erhobene Daten auf Datenträgern speichern zu können, wurde ein standardisierter Dokumentationsbogen entwickelt (sh. Anhang). Mit diesem war es möglich, ohne Zwischenschritte die Information vom Auswertungsbogen auf ein System von insgesamt 31 Lochkarten zu übertragen.

Für die Auswertungen im Bereich der Photostimulation waren vor allem folgende Daten für die vorliegende Arbeit wesentlich:

- Identifikation der Versuchsperson
- Untersuchungsbedingungen (Ableitetechnik, Elektroden und Elektrodenwiderstände, Kalibration, Auswertungs-

programme)

- Notierung der EEG-Teilstücke, die mit Hilfe des Zeit-Codes identifiziert werden konnten.
- Photostimulation: Stimulationsfrequenz; Auswahl der 7-sek-Strecke; Auftreten von Driving in der Stimulationsfrequenz und Erscheinen Harmonischer oder Subharmonischer der Stimulusfrequenz, Frequenz der besseren Ausprägung, Einschaltreaktion.

2.2.4 Auswertung dominante Frequenz

In dem unter 2.2.3 erwähnten Dokumentationsbogen wurden folgende Daten über die dominante Grundfrequenz gespeichert:

- Beschreibung der Grundfrequenz (Frequenzen, Amplituden, eingelagerte Frequenzen)
- Darüberhinaus Ausprägung der dominanten Tätigkeit, Rhythmusbildung, zeitliche Gliederung des EEG, Morphologie der Wellen, Blockadereaktion, Seitenunterschiede u.a.m.

Die Daten wurden ebenfalls durch visuelle Auswertung gewonnen.

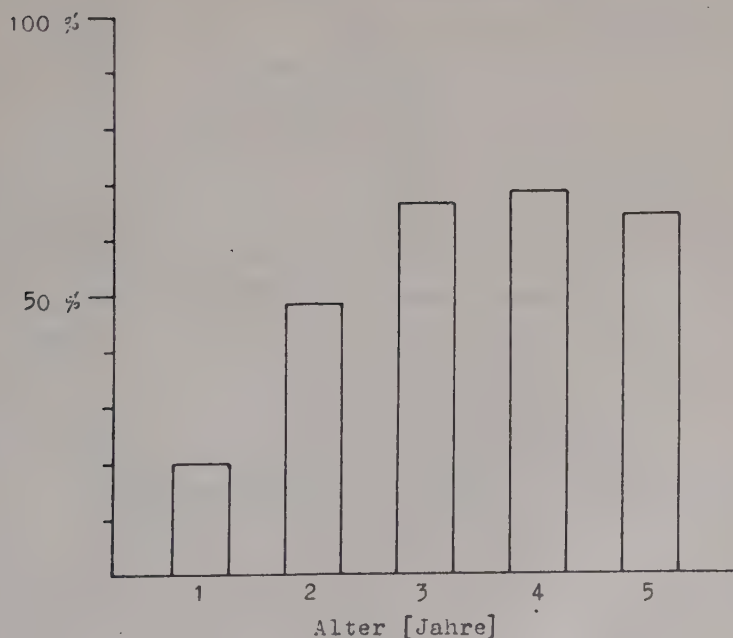
2.3 Untersuchungsergebnisse

2.3.1 Untersuchungen an der Gruppe klinisch gesunder Kinder (Gruppe 1)

2.3.1.1 Altersentwicklung des Photic Driving

An 149 der 224 Probanden der Gruppe klinisch gesunder Kinder (Gruppe 1) wurde die Photostimulation durchgeführt. Mit Photic Driving bei einer oder mehreren der Stimulationsfrequenzen antworteten 84 Kinder. Die Verteilung der positiven Driving-Antworten auf die einzelnen Altersstufen zeigt Abb. 1

Abb. 1
Relative Antworthäufigkeit auf IPS
- Gruppe 1 (Normalgruppe) -



Aus Abb. 1 ist ersichtlich, daß der prozentuale Anteil der Kinder, die auf IPS mit Photic Driving antworteten, in den ersten drei Lebensjahren stark anstieg und sich dann auf einem Niveau einpendelte das über 60 % lag.

Auch die Frequenzverteilung der Driving-Antworten wies altersabhängige Veränderungen auf, die in Abb. 2 und Tab. 2 zu sehen sind.

Abb. 2

Frequenzverteilung der Driving-Antworten
- Gruppe 1 (Normalgruppe) -

Abb. 2a

Altersstufe 1 Jahr

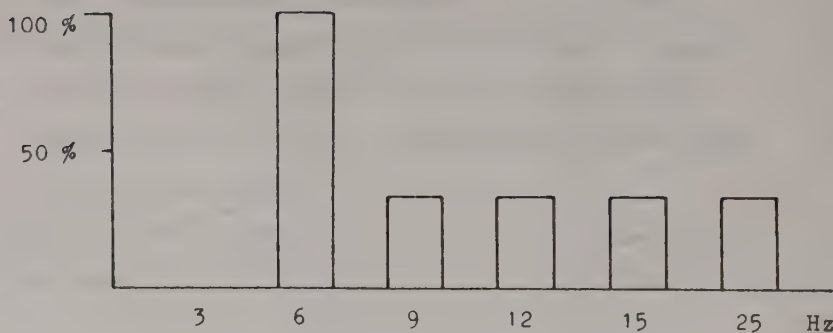


Abb. 2b

Altersstufe 2 Jahre

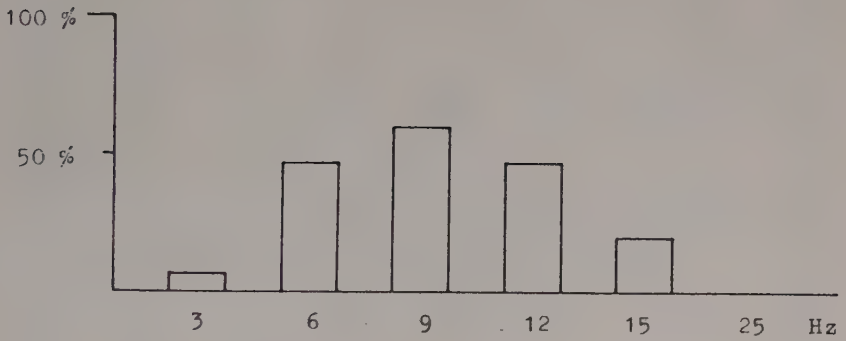


Abb. 2c

Altersstufe 3 Jahre

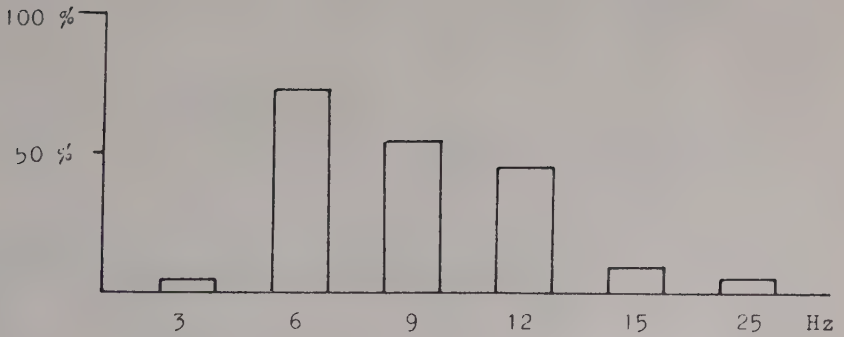


Abb. 2d

Altersstufe 4 Jahre

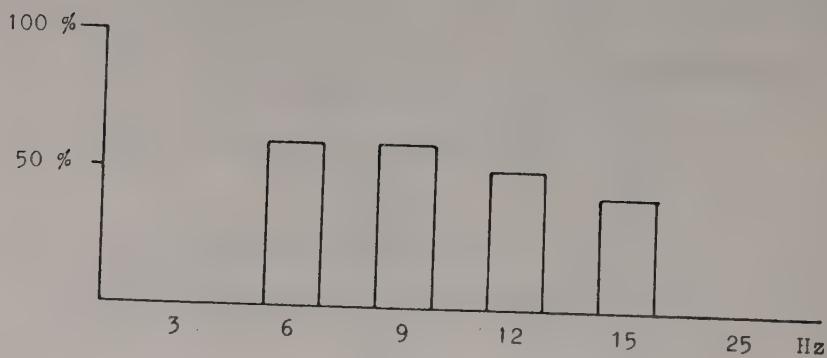
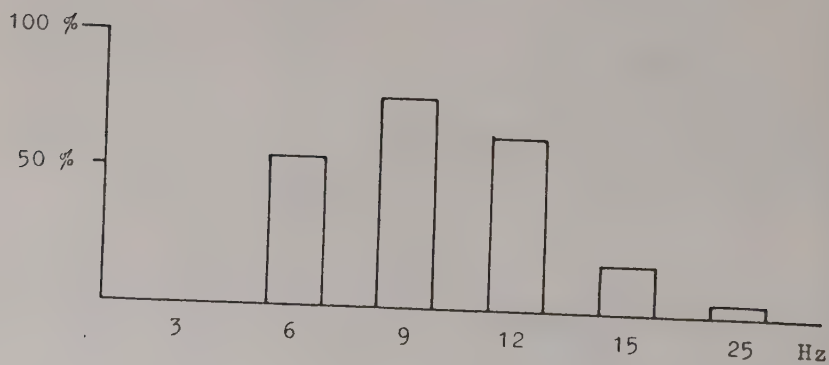


Abb. 2e

Altersstufe 5 Jahre



Photic Driving in Gruppe 1

Alters- stufe	Zahl der Probanden	Positives Driving n %	Frequenzen des Photic Driving									
			3 Hz n %	6 Hz n %	9 Hz n %	12 Hz n %	15 Hz n %	25 Hz n %				
Gesamt- zahl (1 bis 5 J.)	145	84 57,9	-----	-----	-----	-----	-----	-----				
1 Jahr	15	3 20,0	0	3 100	1 33	1 33	1 33	1 33				
2 Jahre	31	15 48,4	1 6,7	7 46,7	9 60,0	7 46,7	3 20,0	0				
3 Jahre	33	22 66,7	1 4,5	16 72,7	12 54,5	10 45,5	2 9,1	1 4,5				
4 Jahre	32	22 68,8	0	13 59,1	13 59,1	11 50,0	9 40,9	0				
5 Jahre	34	22 64,7	0	12 54,5	17 77,3	14 63,6	4 18,2	1 4,5				

Aus Abb. 2 und Tab. 2 geht hervor, daß die Kinder der Gruppe 1 (Normalgruppe), insgesamt gesehen, mit steigendem Lebensalter in höheren Frequenzen antworteten.

Auftreten von Harmonischen: Keines der Kinder in Gruppe 1 antwortete mit Photic Driving in Harmonischen der Stimulusfrequenz f , d.h. mit Photic Driving der Frequenzen $2f$, $3f$ usw.

Auftreten von Subharmonischen: In Gruppe 1 antwortete 1 Kind im Alter von 3 Jahren mit Photic Driving in einer Subharmonischen der Stimulationsfrequenz. Die Stimulationsfrequenz betrug dabei 12 Hz.

Zusammenfassung der Ergebnisse: Bei der untersuchten Probandengruppe wies das Photic Driving folgende altersabhängige Entwicklungen auf:

- Die Bereitschaft der Kinder, auf IPS mit Photic Driving zu antworten, nahm mit steigendem Lebensalter zu. Der Häufigkeitsgipfel lag bei 3 Jahren (69 % der Kinder antworteten in dieser Altersstufe mit Photic Driving). Anschließend war ein leichter Rückgang der Antworthäufigkeit zu verzeichnen.
- Mit zunehmendem Lebensalter erfolgte die Driving-Antwort, insgesamt gesehen, in höheren Frequenzen.

2.3.1.2 Antwortmuster des Photic Driving

Grundlage der folgenden Untersuchung waren EEG-Ableitungen der Gruppe 1 (Normalgruppe) in den Altersstufen zwei, drei, vier und fünf Jahren.

Kinder im Alter von einem halben und einem Lebensjahr wurden nicht berücksichtigt, da die Zahl der Kinder, die in diesem Alter mit Photic Driving antworteten, zu gering für vergleichende Untersuchungen waren.

In die Untersuchungen gingen EEG-Ableitungen ein von

- 15 Kindern im Alter von 2 Jahren
- 22 Kindern im Alter von 3 Jahren
- 22 Kindern im Alter von 4 Jahren
- 22 Kindern im Alter von 5 Jahren.

Die Antwortmuster der Einfach- und Mehrfachantworten des Photic Driving sind in Abb. 3 zu sehen.

Abb. 3 a

- Altersstufe 2 Jahre -

Anzahl der Antworten	Frequenz d. Driving [Hz]										
	3	6	9	12	15	25					
4		x									
2			x								
2				x							
1		x	x								
1			x	x							
1		x	x	x							
1			x	x	x						
1	x	x	x	x							
1					x						

Abb. 3 b

- Altersstufe 3 Jahre -

Anzahl der Antworten	Frequenz d. Driving [Hz]										
	3	6	9	12	15	25					
6		x									
1			x								
1				x							
4		x	x								
2			x	x							
1		x		x							
2		x	x	x							
1		x	x	x							
1	x	x	x	x							
1		x	x	x	x						
1		x	x	x							
1		x		x	x	x					

Abb. 3

Antwortmuster des Photic Driving

- Gruppe 1 (Normalgruppe) -

Abb. 3 c

- Altersstufe 4 Jahre -

Anzahl der Antworten	Frequenz d. Driving [Hz]									
	3	6	9	12	15	25				
5		x								
2			x							
2					x					
3		x	x							
1			x	x						
1				x	x					
1		x								
1		x	x							
3			x	x	x					
1		x								
2		x	x							

Abb. 3 d

- Altersstufe 5 Jahre -

Anzahl der Antworten	Frequenz d. Driving [Hz]									
	3	6	9	12	15	25				
2		x								
4			x							
1				x						
3		x	x							
3			x	x						
1				x	x					
3		x								
2		x	x	x						
2		x	x	x	x					
1			x	x	x	x				

Wie aus den Abb. 3a - d hervorgeht, zeigten die Einfach- und Mehrfachantworten des Photic Driving in allen untersuchten Altersstufen ein breites Spektrum unterschiedlicher Antwortmuster. Keines der Antwortmuster wurde signifikant bevorzugt.

2.3.1.3 Einfluß des Geschlechts auf das Photic Driving

Es wurde untersucht, ob das Geschlecht der Probanden einen signifikanten Einfluß auf die Antwortbereitschaft hat, ob also eines der beiden Geschlechter signifikant häufiger mit Photic Driving antwortet.

Die Ergebnisse dieser Untersuchung sind in Tab. 3 dargestellt.

Tabelle 3
Einfluß des Geschlechts auf das Photic Driving

Alter	Driving	♂	♀
1 Jahr	+	1	2
	-	8	4
2 Jahre	+	3	12
	-	7	9
3 Jahre	+	7	15
	-	7	4
4 Jahre	+	10	12
	-	6	4
5 Jahre	+	9	14
		3	7

Als Signifikanztest wurde der Vier-Felder-Test (χ^2 - Methode) verwendet.

- Nach Altersstufen getrennt, ergab sich nur in der Altersstufe 3 Jahre ein signifikanter Geschlechtsunterschied:

$$\chi^2 = 3,0395$$

$$p = 0,0813$$

Mädchen antworteten in dieser Altersstufe signifikant häufiger mit Photic Driving als Jungen.

- Alle Altersstufen zusammengefaßt, ergab sich ebenfalls ein signifikanter Geschlechtsunterschied:

$$\chi^2 = 5,0753$$

$$p = 0,0242$$

Mädchen antworteten demzufolge im Altersbereich 1 Jahr bis 5 Jahre signifikant häufiger mit Photic Driving als Jungen.

2.3.1.4 Altersentwicklung der dominanten Grundfrequenz

Die folgende Untersuchung beschäftigt sich damit, ob im Altersbereich zwischen 0,5 und 5 Lebensjahren eine Altersentwicklung der dominanten Grundfrequenz stattfindet.

Die Untersuchungsergebnisse zeigt Tab. 4

Tab. 4

Altersentwicklung der dominanten Grundfrequenz

- Gruppe 1 -

	Alter (Jahre)					
	0,5	1	2	3	4	5
Frequenz Mittelwert Hz	5,9	7,0	7,9	8,3	8,8	9,4
Standard- abweichung	0,5	0,7	0,6	0,6	0,5	0,7

Wie aus Tab. 4 ersichtlich ist, stieg der Mittelwert der dominanten Grundaktivität mit zunehmendem Lebensalter kontinuierlich und deutlich an. Dabei nahm der Mittelwert der dominanten Grundaktivität von 5,9 Hz im Alter von 6 Monaten auf 9,4 Hz im Alter von 5 Jahren zu.

2.3.1.5 Der Einfluß der dominanten Grundfrequenz auf das Photic Driving

Ziel der folgenden Untersuchung war es, festzustellen, ob ein Zusammenhang zwischen der dominanten Grundfrequenz und der Frequenz besteht, in der die Antwort des Photic Driving erfolgt.

Dazu wurden die 149 Kinder, bei denen die IPS durchgeführt worden war, nach ihrer dominanten Grundfrequenz in Gruppen eingeteilt, z.B. die Gruppe der Kinder mit der dominanten Grundfrequenz 6 Hz, die Gruppe der Kinder mit der dominanten Grundfrequenz 7 Hz usw.. Das Alter der Kinder blieb bei dieser Ein-

teilung unberücksichtigt.

Zum einen wurde die relative Häufigkeit untersucht, mit der Kinder mit einer bestimmten dominanten Grundfrequenz mit Photic Driving antworteten. Die Ergebnisse zeigt Tabelle 5.

Zum anderen wurde untersucht, welche dominante Grundfrequenz Kinder hatten, die in einer bestimmten Frequenz mit Photic Driving antworteten, und ob bei unterschiedlichen Driving-Frequenzen jeweils Kinder mit unterschiedlichen dominanten Grundfrequenzen bevorzugt vertreten sind; ob also beispielsweise Kinder mit der dominanten Grundfrequenz 6 Hz bevorzugt mit Photic Driving in der Frequenz 6 Hz antworten, Kinder mit der dominanten Grundfrequenz 9 Hz dagegen in der Frequenz 9 Hz. Die Ergebnisse sind aus Tabelle 6 a - f zu ersehen.

Tab. 5
Anteil positiver Driving-Antworten,
gegliedert nach der dominanten Grundfrequenz

Dominante Grundfrequenz [Hz]	Gesamtzahl d. Kinder	Driving posit.	
		Anzahl	Prozent
6	1	0	---
7	6	3	50,0
8	20	7	35,0
9	63	38	60,3
10	48	31	64,6

Tab. 6

Anteil unterschiedlicher dominanter Grundfrequenzen an bestimmten Driving-Frequenzen

Tab. 6 a

Photic Driving bei 3 Hz

Dominante Grundfrequenz [Hz]	Driving posit.	
	Anzahl	%
6	0	---
7	0	---
8	0	---
9	2	100
10	0	---

Tab. 6 b

Photic Driving bei 6 Hz

Dominante Grundfrequenz [Hz]	Driving Posit.	
	Anzahl	%
6	0	---
7	2	3,9
8	4	7,8
9	24	47.1
10	19	37,3

Tab. 6 c

Photic Driving bei 9 Hz

Dominante Grundfrequenz [Hz]	Driving positiv	
	Anzahl	%
6	0	---
7	0	---
8	3	5,8
9	26	50,0
10	18	32,1

Tab. 6 d

Photic Driving bei 12 Hz

Dominante Grundfrequenz [Hz]	Driving positiv	
	Anzahl	%
6	0	---
7	0	---
8	3	7,0
9	20	46,5
10	17	39,5

Tab. 6 e

Photic Driving bei 15 Hz

Dominante Grundfrequenz [Hz]	Driving positiv	
	Anzahl	%
6	0	---
7	0	---
8	2	10,5
9	8	42,1
10	9	47,4

Tab. 6 f

Photic Driving bei 25 Hz

Dominante Grundfrequenz [Hz]	Driving positiv	
	Anzahl	%
6	0	---
7	0	---
8	1	33,3
9	1	33,3
10	1	33,3

Aus Tabelle 5 geht hervor, daß bei Kindern mit höher dominanter Grundfrequenz ein höherer Prozentsatz mit Photic Driving antwortete. Die Unterschiede zwischen den einzelnen Gruppen mit unterschiedlicher dominanter Grundfrequenz waren jedoch bei Prüfung mit dem Mehr-Felder-Test (χ^2 - Methode) nicht signifikant. Tabelle 6 a - f zeigt keinen unmittelbaren Zusammenhang zwischen der Frequenz der Driving-Antwort und der dominanten Grundfrequenz.

2.3.1.6 Die Schwankungsbreite (Range) der dominanten Grundfrequenz und ihr Einfluß auf das Photic Driving

Bei fast allen Probanden der Normalgruppe traten Frequenzschwankungen innerhalb der dominanten Grundfrequenz auf. Die Schwankungsbreite dieser Frequenzschwankungen wird im folgenden als "Range" bezeichnet. Die Größe des Ranges lag bei mehr als zwei Drittel der Probanden zwischen 1 Hz und 2 Hz, konnte aber auch bei 3 und 4 Hz, in Einzelfällen sogar bis zu 5 Hz betragen. Der Range der dominanten Grundfrequenz ist als ein Parameter der Stabilität einer EEG-Ableitung neben der Regelmäßigkeit der Ausprägung der dominanten Grundfrequenz, der Modulation sowie der fronto-okzipitalen Gliederung zu betrachten.

Die Schwankungsbreite (Range) der dominanten Grundfrequenz wird in hohem Maße durch den momentanen psychischen Status der Probanden beeinflusst. Beispielsweise erhöhen Unruhe und Nervosität die Größe des Ranges.

Wegen der zu erwartenden größeren psychischen Ausgeglichenheit im Vigilanzstadium 4 (wach, Augen geschlossen) wurden für diese Untersuchung nur EEG-Ableitungen in diesem Vigilanzstadium herangezogen. Daten, die in diesem Vigilanzstadium gewonnen wurden, ließen ein höheres Maß an Aussagekraft und Vergleich-

barkeit erwarten als Daten des Stadiums 3.

Da es nur in den Altersstufen 4 Jahre und 5 Jahre möglich war, nahezu bei jedem Kind Ableitungen im Vigilanzstadium 4 durchzuführen, wurde die Auswertung auf diesen Altersbereich beschränkt.

Es ergab sich eine Gesamtzahl von 58 Kindern im Alter von 4 und 5 Jahren, die die Grundlage der folgenden Untersuchung bildeten.

Erstes Ziel der Untersuchung war es, die Verteilung der Größe der Ranges innerhalb des untersuchten Kollektivs festzustellen.

Zweites Ziel war es, zu ermitteln, ob die Größe der Schwankungsbreite der dominanten Grundfrequenz einen Einfluß auf die Antworthäufigkeit des Photic Driving hat.

Die Ergebnisse der Untersuchung zeigt die Tabelle 7.

Tab. 7

Verteilung der Ranges und ihr Einfluß auf die Antworthäufigkeit des Photic Driving
- Gruppe 1 (Normalgruppe) -

Range [Hz]	Anzahl	Photic Driving	
		+	-
1	23	22	1
2	21	14	7
3	10	6	4
4	4	1	3

Wie Tabelle 7 zeigt, wiesen 76 % aller untersuchten Kinder Schwankungen der dominanten Grundfrequenz im Bereich von 1 Hz und 2 Hz auf, zeigten also eine stabile dominante Grundfrequenz.

Zur Untersuchung des Einflusses der Range-Größe auf das Photic Driving wurden Probanden mit der Range-Größe 1 Hz und 2 Hz sowie die Probanden, die Range-Größen von 3 Hz, 4 Hz oder mehr aufwiesen, jeweils in einer Gruppe zusammengefaßt.

Der Einfluß der Range-Größe wurde mit Hilfe des Mehr-Felder-Tests (χ^2 -Methode) geprüft. Dabei ergab sich für die Normalgruppe folgendes Ergebnis:

$$\chi^2 = 11,3211$$

$$p = 0,0101$$

Kinder mit einer dominanten Grundfrequenz geringer Schwankungsbreite (1 - 2 Hz) antworteten demnach signifikant häufiger mit Photic Driving als Kinder mit großer Schwankungsbreite (3 - 4 Hz).

2.3.1.7 Der Einfluß des Geschlechts auf die Schwankungsbreite (Range) der dominanten Grundfrequenz

Untersucht wurden wiederum 58 Kinder im Alter von 4 und 5 Jahren. Die Ableitungsbedingungen waren identisch mit denen unter 2.3.1.6 beschriebenen. Die Ergebnisse sind in Tabelle 8 aufgeführt.

Tab. 8

Der Einfluß des Geschlechts der Probanden
auf die Ranges der dominanten Grundfrequenz
- Gruppe 1 (Normalgruppe) -

Range	♂	♀
1 - 2 Hz	19	25
3 Hz und mehr	6	8

Das Geschlecht der Probanden zeigte keinen signifikanten Einfluß auf die Schwankungsbreite der dominanten Grundfrequenz.

2.3.2 Untersuchungen an monozygoten Zwillingen

Untersuchungen an drei monozygoten Zwillingspaaren aus der Gruppe 1 (Normalgruppe) sollten Aufschluß darüber geben, welchen Einfluß die Stabilität der dominanten Grundfrequenz und die Regulation des EEG's unter Ausschluß genetischer Unterschiede auf die Bereitschaft ausüben, auf IPS mit Photic Driving zu antworten.

Die Bewertung der Stabilität als "gut" oder "schlecht" wurde nach visueller Auswertung vorgenommen. Als Kriterien wurden die fronto-okzipitale Gliederung, die Ausprägung der visuellen Blockade-reaktion beim Öffnen der Augen, die Regelmäßigkeit des EEG-Bildes, die Dauer der Ausprägung der domi-

nanten Grundfrequenz, sowie die Schwankungsbreite (Range) herangezogen.

Regulation bezeichnet in diesem Zusammenhang die Ausformung der dominanten Grundfrequenz, z.B. das Auftreten von spindelförmigen Modulationen im Vigilanzstadium 4 nach PRECHTL.

Die Ergebnisse der Untersuchungen an den drei monozygoten Zwillingspaaren ist in Tabelle 9 zu sehen.

Tab. 9

Antwortverhalten monozygoter Zwillingspaare unter Berücksichtigung von Stabilität und Regulation

Tab. 9 a

- Zwillingspaar 1 -

	Alter					
	3 Jahre		4 Jahre		5 Jahre	
Zwilling	1	2	1	2	1	2
Dominante Frequenz [Hz]	9	9	8	8	8,5	8,5
Range der dominanten Frequenz [Hz]	8-10	8-10	7-9	7-9	8-9	8-9
Stabilität	+	+	+	+	+	+
Regulation	gut	gut	gut	gut	gut	gut
Driving bei [Hz]	9	9	9, 12, 15	9, 12	9, 12, 15	6, 9, 12, 25

Tab. 9 b

- Zwillingspaar 2 -

	Alter					
	3 Jahre		4 Jahre		5 Jahre	
Zwilling	1	2	1	2	1	2
Dominante Frequenz [Hz]	9	9	8,5	9	9	9,5
Range der dominanten Frequenz [Hz]	8-10	8-10	8-9	8-10	8-10	9-10
Stabilität	+	+	+	+	+	-
Regulation	gut	gut	gut	gut	gut	schlecht
Driving bei [Hz]	6, 9, 12, 15	9, 15	3, 9, 12	9, 15	9, 12 15	----

Tab. 9 c

- Zwillingspaar 3 -

	Alter					
	3 Jahre		4 Jahre		5 Jahre	
Zwilling	1	2	1	2	1	2
Dominante Frequenz [Hz]	9,5	9	8	8,5	8,5	8,5
Range der dominanten Frequenz [Hz]	8-11	8-10	7-9	8-9	7-10	7-10
Stabilität	-	+	+	+	-	-
Regulation	schlecht	gut	gut	gut	schlecht	schlecht
Driving bei [Hz]	----	6	6, 9, 12, 15	6, 12, 15	----	----

Aus den Ergebnissen der Tabelle 9 a - c konnte die Schlußfolgerung gezogen werden, daß auch unter Ausschluß genetischer Unterschiede die Antwortbereitschaft wesentlich von Stabilität und Regulation abhängig ist. Besonders deutlich wurde dies bei den Zwillingspaaren der Tabelle 9 b und 9 c: Bei demselben Zwillingspaar war die Antwortbereitschaft positiv, wenn Stabilität und Regulation gut waren. In Ableitungen mit schlechter Stabilität und Regulation hingegen fiel die Antwortbereitschaft negativ aus.

2.3.3 Untersuchungen an Kindern mit einem Hyperaktivitätssyndrom und anderen Verhaltensauffälligkeiten (Gruppe 2) und an Kindern mit neurologischen Krankheitsbildern, Entwicklungsrückständen und zerebralen Dysfunktionen (Gruppe 3).
Vergleich mit den Ergebnissen bei klinisch gesunden Kindern (Gruppe 1).

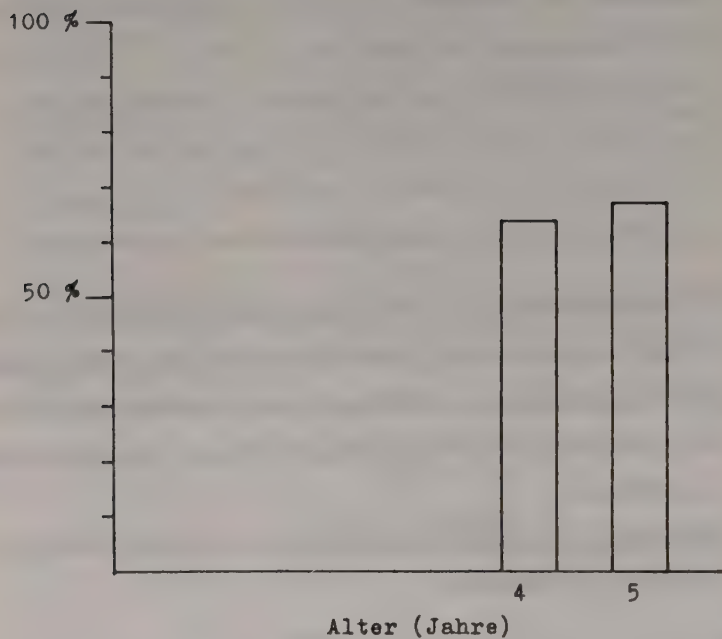
2.3.3.1 Altersentwicklung des Photic Driving

2.3.3.1.1 Ergebnisse der Gruppe 2

Von den 96 Kindern dieser Gruppe, bei denen die IPS durchgeführt wurde, antworteten 63 Kinder (= 65,6 %) mit Photic Driving bei einer oder mehreren der Stimulationsfrequenzen. Die Verteilung auf die einzelnen Altersstufen zeigt Abbildung 4.

Abb. 4

Relative Antworthäufigkeit auf IPS im Alter
von 4 und 5 Jahren
- Gruppe 2 -



Die Frequenzen, bei denen Photic Driving auftrat,
verteilen sich wie folgt:

Abb. 5

Frequenzverteilung der Driving-Antworten

- Gruppe 2 -

Abb. 5 a

- Altersstufe 4 Jahre -

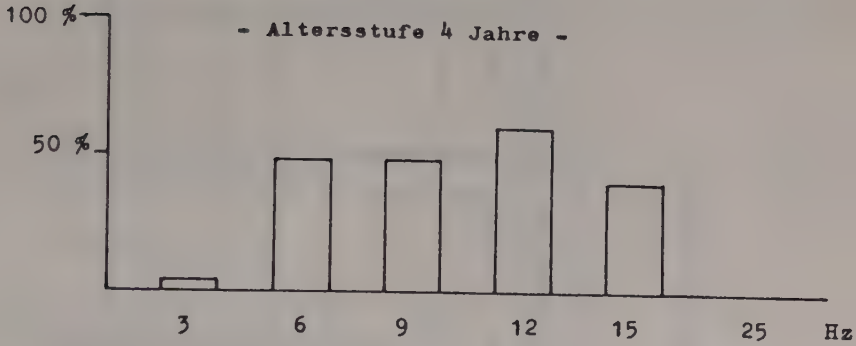
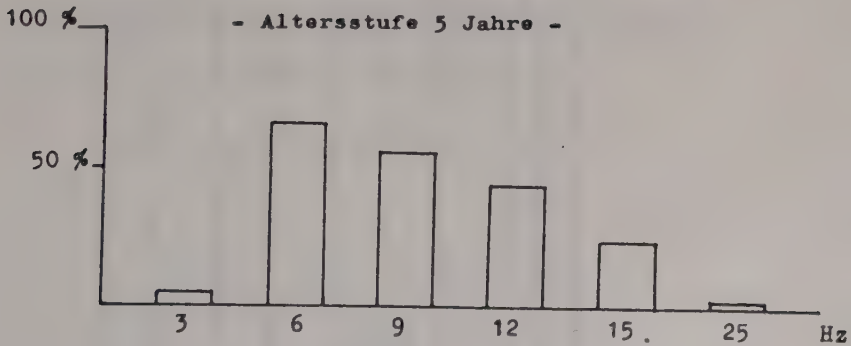


Abb. 5 b

- Altersstufe 5 Jahre -



Tab. 10

Photic Driving in Gruppe 2

Alters- stufe	Zahl der Probanden	Frequenzen des Photic Driving													
		Positives Driving		3 Hz		6 Hz		9 Hz		12 Hz		15 Hz		25 Hz	
		n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
Gesamt- zahl (4 und 5 Jahre)	96	63	65,6	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	
4 Jahre	39	25	64,1	1	4,0	12	48,0	12	48,0	15	60,0	10	40,0	0	
5 Jahre	57	38	66,7	2	5,3	25	65,8	21	55,3	16	42,1	9	23,7	1	2,6

Auftreten von Harmonischen: In Gruppe 2 ($n = 96$) antworteten 4 Kinder mit Photic Driving in einer Harmonischen der Stimulusfrequenz, davon 2 Vierjährige und 2 Fünfjährige. Eines dieser Kinder (Alter: 5 Jahre) antwortete bei der Stimulationsfrequenz 3 Hz in einer Harmonischen; die 3 weiteren Kinder zeigten diesen Antworttyp bei der Stimulationsfrequenz 6 Hz.

Auftreten von Subharmonischen: In Gruppe 2 antwortete keines der Kinder in einer Subharmonischen der Stimulusfrequenz.

2.3.3.1.2 Ergebnisse der Gruppe 3

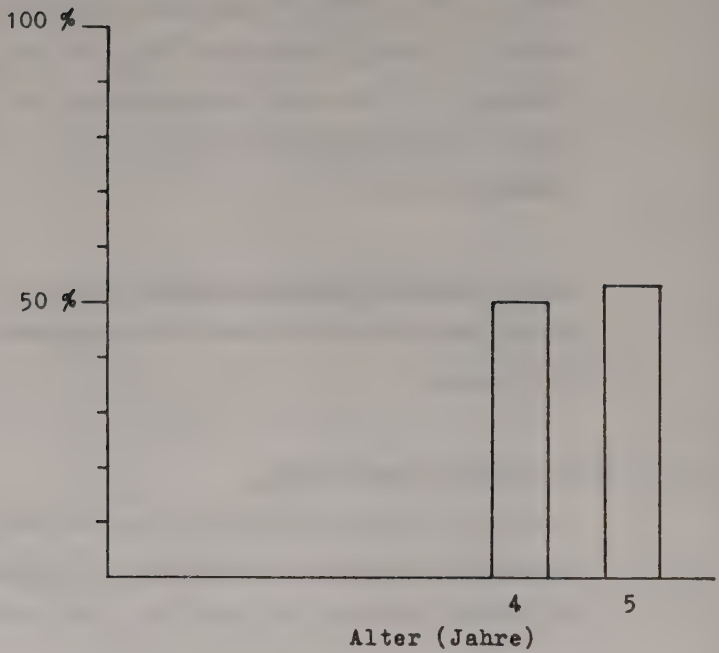
Von den 94 Kindern dieser Gruppe, an denen die IPS durchgeführt wurde, antworteten 49 Kinder ($= 52,1 \%$) mit Photic Driving in einer oder mehreren der Stimulationsfrequenzen.

Die relative Antworthäufigkeit in den einzelnen Altersstufen zeigt die Abbildung 6.

Abb. 6

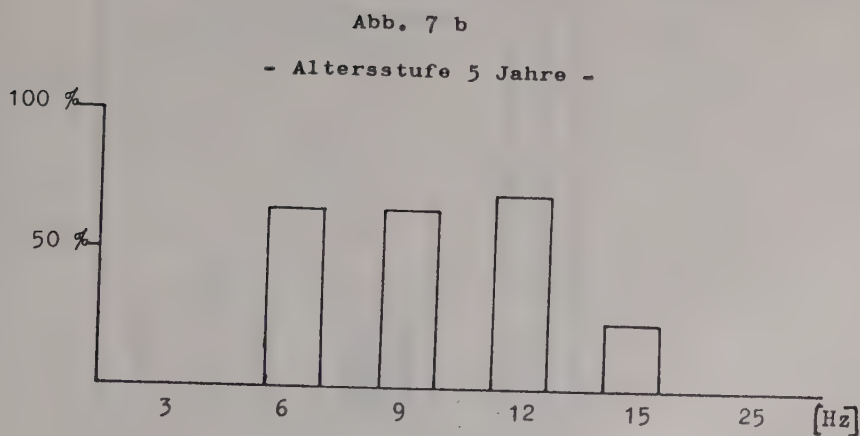
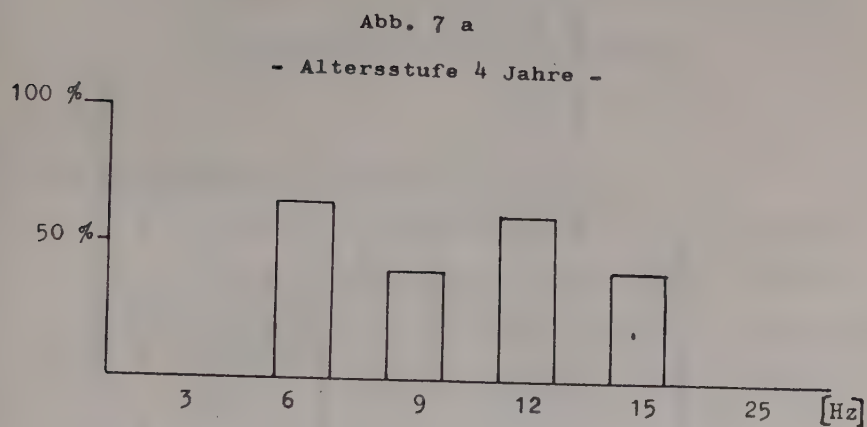
Relative Antworthäufigkeit auf IPS

- Gruppe 3 -



Die Frequenzen, bei denen Photic Driving auftrat, verteilten sich wie folgt:

Abb. 7
 Frequenzverteilung der Driving-Antworten
 - Gruppe 3 -



Tab. 11

Photic Driving in Gruppe 3

Alters- stufe	Zahl der Probanden	Positives Driving n %	Frequenzen des Photic Driving							
			3 Hz n %	6 Hz n %	9 Hz n %	12 Hz n %	15 Hz n %	25 Hz n %		
Gesamt- zahl (4 und 5 Jahre)	94	49 52,1	-----	-----	-----	-----	-----	-----		
4 Jahre	30	15 50,0	0	10 66,7	6 40,0	9 60,0	6 40,0	0		
5 Jahre	64	34 53,1	0	22 64,7	22 64,7	24 70,6	8 23,5	0		

Auftreten von Harmonischen: In Gruppe 3 antwortete keines der Kinder mit Photic Driving in einer Harmonischen der Stimulusfrequenz.

Auftreten von Subharmonischen: Keines der Kinder in Gruppe 3 antwortete mit Photic Driving in einer Subharmonischen der Stimulusfrequenz.

2.3.3.1.3 Zusammenfassung der Ergebnisse:

- Die relative Häufigkeit, mit der die Kinder der Gruppen 2 und 3 in den Altersstufen 4 Jahre und 5 Jahre mit Photic Driving antworteten, entsprach ungefähr derjenigen der Gruppe 1. Die Unterschiede zwischen den 3 untersuchten Gruppen waren nicht signifikant.
- Auch die Unterschiede bezüglich der Frequenzen, in denen die Driving-Antworten erfolgten, waren nicht signifikant.

2.3.3.2 Antwortmuster des Photic Driving

2.3.3.2.1 Ergebnisse der Gruppe 2 (Kinder mit Hyperaktivitätssyndrom und anderen Verhaltensauffälligkeiten)

Die Antwortmuster der Einfach- und Mehrfachantworten des Photic Driving sind in Abbildung 8 a und b zu ersehen.

Abb. 8

Antwortmuster des Photic Driving

- Gruppe 2 -

Abb. 8 a

- Altersstufe 4 Jahre -

		Frequenz d. Driving [Hz]					
		3	6	9	12	15	25
Anzahl der Antworten	4		x				
	3			x			
	2				x		
	1	x	x				
	1		x	x			
	2			x	x		
	2				x	x	
	1		x		x		
	1			x		x	
	1		x	x	x		
	3			x	x	x	
	3		x		x	x	
	1		x	x	x	x	

Abb. 8 b

- Altersstufe 5 Jahre -

		Frequenz des Driving					
		3	6	9	12	15	25
Anzahl der Antworten	8		x				
	4			x			
	4				x		
	2					x	
	6		x	x			
	1				x	x	
	1	x		x			
	1		x		x		
	1	x	x	x			
	4		x	x	x		
	2			x	x	x	
	3		x	x	x	x	
	1		x		x	x	x

2.3.3.2.2 Ergebnisse der Gruppe 3 (Kinder mit neurologischen Krankheitsbildern, Entwicklungsrückständen und zerebralen Dysfunktionen)

Die Antwortmuster der Gruppe 3 zeigen die Abbildungen 9 a und b.

Abb. 9

Antwortmuster des Photic Driving

- Gruppe 3 -

Abb. 9 a

- Altersstufe 4 Jahre -

		Frequenz d. Driving [Hz]					
		3	6	9	12	15	25
Anzahl der Antworten	4		x				
	1					x	
	1		x	x			
	1			x	x		
	1				x	x	
	2		x		x		
	1		x	x	x		
	2			x	x	x	
	1		x		x	x	
	2		x	x	x	x	

Abb. 9 b

- Altersstufe 5 Jahre -

		Frequenz d. Driving [Hz]					
		3	6	9	12	15	25
Anzahl der Antworten	5		x				
	1			x			
	3				x		
	2		x	x			
	6			x	x		
	1				x	x	
	2		x		x		
	1			x		x	
	2		x			x	
	8		x	x	x		
	1			x	x	x	
	1		x		x	x	
	1		x	x	x	x	

2.3.3.2.2 Auswertung und Vergleich der Ergebnisse

Um eventuelle Unterschiede im Antwortverhalten der 3 Gruppen feststellen zu können, wurde folgende Einteilung der Antwortmuster vorgenommen:

- Einfachantworten: Diese Kinder antworteten nur bei einer Stimulationsfrequenz.
- Zweifachantworten (benachbart): Die Kinder antworteten bei zwei benachbarten Stimulusfrequenzen
- Dreifach- und Vierfachantworten (benachbart)
- Lückenhafte Mehrfachantwortmuster

Die Ergebnisse sind in den Tabellen 12 a und b festgehalten.

Tab. 12

Häufigkeit verschiedener Typen von Antwortmustern

Tab. 12 a

- Altersstufe 4 Jahre -

	Einfach- antwort	Zweifach- antwort	Drei- und vierfach- Antwort	Lückenhafte Mehrfach- Antworten
Gruppe 1	9	5	6	2
Gruppe 2	9	6	5	5
Gruppe 3	5	3	4	3

Tab. 12 b

- Altersstufe 5 Jahre -

	Einfach- antwort	Zweifach- antwort	Drei- und vierfach- antwort	Lückenhafte Mehrfach- antworten
Gruppe 1	7	7	5	3
Gruppe 2	18	7	10	3
Gruppe 3	9	9	10	6

Um festzustellen, ob signifikante Unterschiede im Antwortverhalten zwischen den drei Probandengruppen existieren, wurde der χ^2 - Test (Mehrfelder-Test) angewendet. Dabei ergaben sich weder im Altersbereich 4 Jahre noch im Altersbereich 5 Jahre signifikante Unterschiede.

2.3.3.3 Der Einfluß des Geschlechts auf das Photic Driving
Ergebnisse der Gruppe 2 (Kinder mit Hyperaktivitäts-
syndrom und anderen Verhaltensauffälligkeiten) und
der Gruppe 3 (Kinder mit neurologischen Krankheits-
bildern, Entwicklungsrückständen und zerebralen
Dysfunktionen)

Die Ergebnisse der Untersuchung des Einflusses des Geschlechts auf das Photic Driving in Gruppe 2 und Gruppe 3 zeigt die Tabelle 13.

Tab. 13

Einfluß des Geschlechts auf das Photic Driving
 - Gruppe 2 und Gruppe 3 -

	Driving +		Driving -	
	♂	♀	♂	♀
Gruppe 2	23	25	16	16
Gruppe 3	23	16	25	18

In Gruppe 2 und Gruppe 3 war der Geschlechtsunterschied - im Gegensatz zur Gruppe 1 - nicht signifikant.

2.3.3.4 Altersentwicklung der dominanten Grundfrequenz

2.3.3.4.1 Ergebnisse der Gruppe 2 (Kinder mit Hyperaktivitäts-syndrom und anderen Verhaltensauffälligkeiten)

Die Altersentwicklung der dominanten Grundfrequenz in Gruppe 2 zeigt die Tabelle 14.

Tab. 14

Altersentwicklung der dominanten Grundfrequenz
- Gruppe 2 -

Alter (in Jahren)	4	5
Frequenz Mittelwert [Hz]	8,84	9,31
Standard- abweichung	0,7	0,6

Analog zu Gruppe 1 zeigte der Mittelwert der dominanten Grundaktivität auch bei Gruppe 2 eine Altersentwicklung hin zu höheren Frequenzbereichen. Der Mittelwert nahm dabei von 8,84 Hz im 4. Lebensjahr auf 9,31 Hz im 5. Lebensjahr zu.

Die Unterschiede zur Gruppe 1 waren nicht signifikant.

2.3.3.4.2 Ergebnisse der Gruppe 3 (Kinder mit neurologischen Krankheitsbildern, Entwicklungsrückständen und zerebralen Dysfunktionen)

Die Altersentwicklung der dominanten Grundfrequenz in Gruppe 3 zeigt die Tabelle 15.

Tab. 15

Altersentwicklung der dominanten Grundfrequenz
- Gruppe 3 -

Alter (in Jahren)	4	5
Frequenz Mittelwert [Hz]	8,86	9,16
Standard- abweichung	0,6	0,6

Auch die Gruppe 3 wies eine Altersentwicklung der dominanten Grundaktivität auf, deren Frequenzwerte in etwa denen der Gruppe 1 und der Gruppe 2 entsprachen. Die Unterschiede zu diesen beiden Gruppen waren nicht signifikant.

2.3.3.5 Die Schwankungsbreite (Range) der dominanten Grundfrequenz und ihr Einfluß auf das Photic Driving

Wie unter 3.3.1.6 ausgeführt, mußten für diese Untersuchungen Ableitungen im Vigilanzstadium 4 nach PRECHTL durchgeführt worden sein. Deshalb verringerte sich sowohl in Gruppe 2 als auch in Gruppe 3 die Zahl der Probanden, die zur Auswertung herangezogen wurde, wie folgt:

- Gruppe 2: 67 Kinder
- Gruppe 3: 51 Kinder

Die Ergebnisse der Untersuchung sind aus den Tabellen 16 a und b ersichtlich.

Tab. 16

Verteilung der Ranges und ihr Einfluß auf die Anwerthäufigkeit des Photic Driving

Tab. 16 a

- Gruppe 2 -

Range	Anzahl der Kinder	Driving	
		+	-
1 Hz	28	16	12
2 Hz	21	18	3
3 Hz	10	5	7
4 Hz	5	3	2
5 Hz	1	1	-

Tab. 16 b
- Gruppe 3 -

Range	Anzahl der Kinder	Driving	
		+	-
0 Hz	1	-	1
1 Hz	15	10	5
2 Hz	15	8	7
3 Hz	15	7	8
4 Hz	1	4	5

In Gruppe 2 wiesen 73 % der Kinder, in Gruppe 3 jedoch nur 31 % der Kinder Schwankungen der dominanten Grundfrequenz im Bereich von 1 Hz und 2 Hz auf. Bei Anwendung des Mehr-Felder-Tests (χ^2 - Methode) ergaben sich folgende Werte:

$$\chi^2 = 2,846$$

$$p = 0,1$$

Der Unterschied zwischen Gruppe 2 und Gruppe 3 war signifikant.

Der Einfluß der Größe der Ranges auf das Photic Driving wurde mit Hilfe des Mehr-Felder-Tests (χ^2 - Methode) geprüft.

Dabei zeigten sich folgende Ergebnisse:

Gruppe 2 : $\chi^2 = 9,091$

$$p = 0,0598$$

Gruppe 3 : $\chi^2 = 6,881$

$$p = 0,0781$$

In beiden Gruppen war demnach, ebenso wie in Gruppe 1, der Einfluß der Range-Größe auf das Photic Driving signifikant: Je kleiner die Ranges waren, desto häufiger antworteten die Probanden mit Photic Driving. Das Signifikanzniveau entsprach in allen 3 Gruppen einer Irrtumswahrscheinlichkeit unter 10 %.

2.3.3.6 Der Einfluß des Geschlechts auf die Schwankungs-
breite (Range) der dominanten Grundfrequenz

Die Ergebnisse der Gruppe 2 und der Gruppe 3
zeigt die Tabelle 17.

Tab. 17

Der Einfluß des Geschlechts auf die Ranges
der dominanten Grundfrequenz

Tab. 17 a

- Gruppe 2 -

	♂	♀
Range 1 Hz u. 2 Hz	23	26
Range 3 Hz u. mehr	8	10

Tab. 17 b

- Gruppe 3 -

	♂	♀
Range 0 - 2 Hz	19	12
Range 3 Hz u. mehr	8	13

Weder für Gruppe 2 noch für Gruppe 3 ergab sich ein signifikanter Einfluß des Geschlechts der Probanden auf die Schwankungsbreite der dominanten Grundfrequenz.

Dies entspricht dem Ergebnis bei Gruppe 1 (Normalgruppe).

3. Diskussion

Eine Reihe von Untersuchungen, unter denen die Arbeiten von ELLINGSON (1958, 1960), DREYFUS-BRISAC (1959) und PETERSEN und EEG-OLOFSSON (1971) hervorgehoben werden sollen, stellten eine Altersentwicklung des Photic Driving vor allem im Säuglingsalter und im frühen Kindesalter fest.

PETERSEN und EEG-OLOFSSON (1971) berichteten, daß die prozentuale Antwortbereitschaft aller mit IPS stimulierten Kinder von ca. 75 % im 1. Lebensjahr auf 95 % im 6. Lebensjahr anstieg. In der vorliegenden Untersuchung konnte ebenfalls eine deutliche Zunahme der Antworthäufigkeit im genannten Zeitraum festgestellt werden. Allerdings differieren die Zahlenwerte erheblich gegenüber der Studie von PETERSEN und EEG-OLOFSSON:

In der Normalgruppe antworteten im 1. Lebensjahr nur 19 % der Probanden mit Photic Driving; ein deutlicher Gipfel in der Antwortbereitschaft war im 4. Lebensjahr mit ca. 69 % erreicht. In der Altersgruppe der Fünfjährigen war sogar ein geringfügiger Rückgang der Antwortbereitschaft auf 61 % zu verzeichnen.

Möglicherweise ist der Grund für die Unterschiedlichkeit der Ergebnisse in der unterschiedlichen Stimulationsdauer zu suchen: Sie war bei PETERSEN und EEG-OLOFSSON wesentlich länger (meist 20 sek), bei der vorliegenden Untersuchung lag sie hingegen bei 7 sek. Es ist denk-

bar, daß bei einer längeren Stimulationsdauer ein höherer prozentualer Anteil der Probanden mit Photic Driving geantwortet hätte.

Vermutlich ist dieser Unterschied in der Versuchsanordnung auch für eine Reihe weiterer differierender Ergebnisse verantwortlich zu machen:

- Den geringeren Anteil an Nichtantworten bei PETERSEN und EEG-OLOFSSON (9,5 % gegenüber 42,1 % in der vorliegenden Arbeit).
- Den wesentlich höheren Anteil von zusammenhängenden Mehrfachantwortmustern sowie das Fehlen lückenhafter Antwortmuster bei PETERSEN und EEG-OLOFSSON. Die Ergebnisse dieser Autoren stimmen überein mit DUMERMUTH (1972), der davon sprach, daß der Driving-Effekt "nicht selten kontinuierlich von 3/sek bis 25/sek" ausgelöst werden kann.
- Die Tatsache, daß PETERSEN und EEG-OLOFSSON bei allen Kindern Antworten in Harmonischen der Stimulationsfrequenz beobachten konnten, vor allem in der 2. und 3. Harmonischen. In der vorliegenden Untersuchung war bei keinem der Probanden eine derartige Antwort zu beobachten.

PETERSEN und EEG-OLOFSSON berichteten von einem signifikanten Geschlechtsunterschied in Bezug auf Photic Driving: Die Antwortbereitschaft war bei Jungen geringer

als bei Mädchen. Dieses Ergebnis bezog sich auf die Gesamtheit aller Probanden im Alter vom 1. bis zum 15. Lebensjahr. Die vorliegende Arbeit konnte diesen Geschlechtsunterschied im Altersbereich vom 1. bis zum 5. Lebensjahr bestätigen. Bei der gesonderten Auswertung der einzelnen Altersstufen ergab sich jedoch nur für die Altersstufe 3 Jahre ein signifikanter Geschlechtsunterschied.

Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit bezüglich der Altersentwicklung der dominanten Grundfrequenz bestätigen im wesentlichen die Ergebnisse der Untersuchungen von BERGER 1932; LINDSLEY 1936, 1938; SMITH 1937; BERNHARD und SKOGLUND 1939; GARSCHKE 1953, 1954; und PETERSEN und EEG-OLOFSSON 1971: Die Frequenz der dominanten Grundaktivität nahm mit steigendem Alter kontinuierlich zu. Die Zahlenwerte zeigten große Übereinstimmung mit denen der Studie von PETERSEN und EEG-OLOFSSON (1971).

Mehrere Autoren (WALTER und WALTER 1949, MUNDY-CASTLE 1953, DUMERMUTH 1972) beschrieben einen engen Zusammenhang zwischen der dominanten Grundfrequenz des Ruhe-EEG und der Frequenz, in der auf IPS mit Photic Driving geantwortet wird. Dieser Zusammenhang ließ sich in der vorliegenden Untersuchung nicht bestätigen. Dabei muß aber zu den eigenen Untersuchungen kritisch angemerkt werden, daß

1. die Stimulationsdauer im Vergleich zu anderen Unter-

suchungen relativ gering war (s.o.)

2. zwischen der Ableitung des Ruhe-EEG und der Durchführung der Photostimulation Zeiträume von bis zu einer halben Stunde lagen, sodaß die Ableitungsbedingungen nicht exakt vergleichbar sind.

Der letztere Punkt ist deshalb von großer Wichtigkeit, weil die Stabilität der dominanten Grundfrequenz, die Schwankungsbreite der dominanten Grundfrequenz und die Regulation der EEG-Ableitung einen deutlichen Einfluß auf die Bereitschaft hat, mit Photic Driving zu antworten. Auf diese Größen wirken jedoch verschiedenste Faktoren ein, die den physiologischen und psychologischen Zustand der Probanden beeinflussen. Beispielsweise beschrieb GARSCHKE (1954) die Labilität, d.h. die Beeinflußbarkeit durch äußere (akustische, taktile etc.) und innere (Angst, innere Erregung) Reize als ein Charakteristikum des kindlichen EEG, vor allem des EEG im frühen Kindesalter. Auch für das Photic Driving zeigten mehrere Autoren (WALTER und WALTER 1949; MUNDY-CASTLE 1953; VOGEL 1969, 1974; COULL und PEDLEY 1978; SCHEULER 1983), daß die Driving-Antwort hochgradig variabel und durch verschiedenste Faktoren (z.B. geistige Anstrengung, psychisches Befinden, hormonelle Einflüsse, Blutzuckerspiegel) beeinflussbar ist.

Bei der Untersuchung des Geschlechtseinflusses auf die Schwankungsbreite der dominanten Grundfrequenz konnte kein signifikanter Geschlechtsunterschied festgestellt

werden. Grund dafür ist wahrscheinlich die zu geringe Fallzahl der Untersuchung.

Nicht beschrieben wurden bisher Untersuchungen über das Photic Driving bei Kollektiven von Kindern mit einem Hyperaktivitätssyndrom und anderen Verhaltensauffälligkeiten sowie von Kindern mit neurologischen Krankheitsbildern, Entwicklungsrückständen und zerebralen Dysfunktionen.

Bei den Untersuchungen zur Altersentwicklung des Photic Driving, zu den Antwortmustern des Photic Driving und zum Einfluß der Schwankungsbreite der dominanten Grundfrequenz auf das Photic Driving ergaben sich keine signifikanten Unterschiede zwischen der Gruppe klinisch gesunder Kinder und den Kollektiven klinisch auffälliger Kinder. Der Grund hierfür könnte sowohl in den oben geschilderten methodologischen Problemen liegen, als auch in der großen Variabilität und Beeinflußbarkeit des Photic Driving (s.o.).

Ebenfalls keine signifikanten Unterschiede zwischen den drei Probandenkollektiven ergaben Untersuchungen zur Altersentwicklung der dominanten Grundfrequenz und zum Einfluß des Geschlechts auf die Schwankungsbreite der dominanten Grundfrequenz. Mögliche Ursachen hierfür könnten sein:

1. die große interindividuelle Variabilität der dominanten Grundfrequenz gerade im frühen Kindesalter

(LINDSLEY 1936, 1938; GARSCHKE 1953, 1954; DUMERMUTH 1972; MATOUSEK und PETERSEN 1973).

2. die intraindividuelle Variationsbreite und Inkonzanz in diesem Altersbereich (GARSCHKE 1953, 1954; DUMERMUTH 1972; MATOUSEK und PETERSEN 1973)

3. die Labilität des EEG im frühen Kindesalter (s.o.).

In der Gruppe der Kinder mit einem Hyperaktivitätssyndrom und anderen Verhaltensauffälligkeiten und in der Gruppe von Kindern mit neurologischen Krankheitsbildern, Entwicklungsrückständen und zerebralen Dysfunktionen war der Einfluß des Geschlechts auf die Bereitschaft, mit Photic Driving zu antworten, im Gegensatz zu den Ergebnissen der Gruppe klinisch gesunder Kinder nicht signifikant. Die Gruppe mit neurologischen Krankheitsbildern, Entwicklungsrückständen und zerebralen Dysfunktionen wies einen signifikant höheren Anteil an Schwankungsbreiten der dominanten Grundfrequenz von 3 Hz und mehr auf als die beiden anderen Kollektive. Beide Ergebnisse könnten als Ausdruck größerer Variabilität und Labilität der dominanten Grundfrequenz bzw. des Photic Driving in den betreffenden klinisch auffälligen Kollektiven gewertet werden.

4. Zusammenfassung

Untersucht wurden 224 gesunde Kinder im Alter von einem halben bis zum fünften Lebensjahr (Gruppe 1). An 149 Kindern wurde die Photostimulation durchgeführt.

Der Anteil der Kinder, die mit Photic Driving antworteten, stieg von 20 % im ersten Lebensjahr auf 69 % im vierten und 61 % im fünften Lebensjahr.

Die Frequenzverteilung der Driving-Antworten verschob sich mit zunehmendem Alter hin zu höheren Frequenzen. Mädchen antworteten signifikant häufiger mit Photic Driving als Jungen.

Die dominante Grundfrequenz wies ebenfalls eine Altersentwicklung auf: von 5,9 Hz im sechsten Lebensmonat auf 9,4 Hz im fünften Lebensjahr (Mittelwerte der Gesamtgruppe). Nicht bestätigt werden konnte ein direkter Zusammenhang zwischen der dominanten Grundfrequenz und der Frequenz, in der das Photic Driving auftritt.

Hingegen hatte die Schwankungsbreite der dominanten Grundfrequenz einen signifikanten Einfluß auf das Photic Driving: Probanden mit geringer Schwankungsbreite (0 - 2 Hz) antworteten häufiger als solche mit größerer Schwankungsbreite (3 Hz und mehr).

Das Geschlecht der Probanden hatte keinen signifikanten Einfluß auf die Schwankungsbreite der dominanten Grundfrequenz. Die Ergebnisse von Untersuchungen an drei

monozygoten Zwillingspaaren aus dem Normalkollektiv legten den Schluß nahe, daß in erster Linie nicht genetische Unterschiede, sondern die Stabilität der dominanten Grundfrequenz und die Regulation der EEG-Ableitungen die Bereitschaft beeinflussen, mit Photic Driving zu antworten.

Weiterhin wurden Untersuchungen an einer Gruppe von 103 Kindern im Alter von 4 und 5 Jahren, die ein Hyperaktivitätssyndrom oder andere Verhaltensauffälligkeiten aufwiesen (Gruppe 2) sowie an einer Gruppe von 106 Kindern desselben Altersbereichs mit neurologischen Krankheitsbildern, Entwicklungsrückständen und zerebralen Dysfunktionen (Gruppe 3) durchgeführt.

Die Ergebnisse der Untersuchungen über die Altersentwicklung des Photic Driving und der dominanten Grundfrequenz, über die Antwortmuster des Photic Driving sowie über den Einfluß der Schwankungsbreite der dominanten Grundfrequenz auf das Photic Driving entsprachen den Ergebnissen des Normalkollektivs.

Dagegen konnte der in der Normalgruppe beobachtete Geschlechtsunterschied in der Häufigkeit der Driving-Antworten bei den beiden Gruppen klinisch auffälliger Kinder nicht beobachtet werden. Dies wurde als Ausdruck größerer Variabilität und Beeinflußbarkeit des Photic Driving in den betreffenden Kollektiven gewertet.

Die Schwankungsbreite der dominanten Grundfrequenz war

in der Gruppe 3 signifikant höher als in der Gruppe 2. Möglicherweise ist dieser Unterschied auf eine größere Labilität der dominanten Grundfrequenz in dieser Gruppe zurückzuführen.

Zusammengefaßt läßt sich somit sagen: Die Ergebnisse früherer Arbeiten über die Altersentwicklung des Photic Driving und der dominanten Grundfrequenz werden in der vorliegenden Arbeit im wesentlichen bestätigt.

Es zeigte sich jedoch, daß das Photic Driving stark von verschiedenen Einflußgrößen, wie z.B. dem Vigilanzstadium, der Stabilität des EEG und der Schwankungsbreite der dominanten Grundfrequenz beeinflußt wird, Größen, die letztlich den Einfluß des gesamten physiologischen und psychologischen Zustandes der Probanden widerspiegeln. Diese Faktoren überdeckten den Einfluß beispielsweise neurologischer Krankheitsbilder auf das EEG, sodaß diese Arbeit keine neuen, klinisch anwendbaren Informationen über zusätzliche Parameter der frühkindlichen Entwicklung des EEG erbringen konnte.

Die vornehmliche klinische Bedeutung der Intermittierenden Photostimulation liegt somit weiterhin in der Diagnostik epileptischer Erkrankungen.

5. Literaturverzeichnis

- ADRIAN, E.D., und MATTHEWS, B.H.C.: The Berger rhythm. Potential changes from the occipital lobes in man. Brain, 1934, 57: 355 - 385
- ALI, M.R.: Pattern of EEG recovery under photic stimulation by light of different colors. EEG Clin. Neurophysiol. 1972, 33: 332 - 335
- BERGER, H.: Über das Elektrenkephalogramm des Menschen. V. Arch. Psychiat. Nervenkr. 1932, 98: 231 - 254
- BERNHARD, C.G., und SKOGLUND, C.R.: On the alpha frequency of human brain potentials as a function of age. Skand. Arch. Physiol. 1939, 82: 178 - 184
- CARELS, G.: Facilitation et inhibition des réponses corticales visuelles chez l 'homme. EEG Clin. Neurophysiol. 1962, 14: 714 - 723
- CARTERETTE, E.C., und SYMMES, D.: Color as an experimental variable in photic stimulation. EEG Clin. Neurophysiol. 1952, 4: 289 - 296
- COBB, S.: Photic Driving as a cause of clinical seizures in epileptic patients. Arch. Neurol. Psychiat., Chicago 1947, 58: 70 - 71
Zit. HERRLIN, a.a.O.
- CORBIN, H.P., und BICKFORD, M.B.: Studies of the electroencephalogram of normal children: comparison of visual and automatic frequency analyses. EEG Clin. Neurophysiol. 1955, 7: 15 - 28
- COULL, B.M., und PEDLEY, T.A.: Intermittent photic stimulation. Clinical usefulness of non-convulsive responses. EEG Clin. Neurophysiol. 1978, 44: 353 - 363

- DALY, D., und BICKFORD, R.G.: Electroencephalographic studies of identical twins with photoepilepsy.
EEG Clin. Neurophysiol. 1951, 3: 245 - 249
- DOOSE, H., GERKEN, H., HIEN-VÖLPEL, K.F., und VÖLZKE, E.: Genetics of photosensitive epilepsy.
Neuropädiatrie, Vol. 1, No. 1, 1969: 56 - 73
- DREYFUS-BRISAC, C.: Electroencephalography in infancy.
in: Linneweh, F.: Die physiologische Entwicklung des Kindes.
Springer Verlag, Berlin 1959
- DUMERMUTH, G.: Electronic data processing in pediatric EEG research.
Neuropädiatrie, Vol. 2, No. 4, 1971: 349 - 374
- DUMERMUTH, G.: Elektroencephalographie im Kindesalter.
Georg Thieme Verlag, Stuttgart 1972
- EEG-OLOFSSON, O.: The development of the electroencephalogram in normal adolescents from the age of 16 through 21 years.
Neuropädiatrie, Vol 3, No. 1, 1971: 11 - 45
- EGMOND, P. VAN, BINNIE, C.D., und VELDHUIZEN, R.: The effect of background illumination on sensitivity to intermittent photic stimulation.
EEG Clin. Neurophysiol. 1980, 48: 599 - 601
- ELLINGSON, R.J.: Electroencephalograms of normal, full-term newborns immediately after birth with observations on arousal visual evoked responses.
EEG Clin. Neurophysiol. 1958, 10: 31 - 50
- ELLINGSON, R.J.: Cortical electrical responses to visual stimulation in the human infant.
EEG Clin. Neurophysiol. 1960, 12: 663 - 677

- ELLINGSON, R.J.: Studies of the developing human brain.
in: Himwich, W.A., und Himwich, H.E. (Hrsg.):
The developing brain. Progress Brain Res. 9, 1964:
26 - 53
- FLORU, R., COSTIN, A., NESTIANU, V., und STERESCU-
VOLANSCHI, M.: Researches concerning the effect of
noradrenaline upon the electrical activity of the
central nervous system and upon the evoked rhythm
of intermittent photic stimulation in cats with
chronic electrodes.
EEG Clin. Neurophysiol. 1962, 14: 556
- GARSCHKE, R.: Grundzüge des normalen Elektroencephalo-
gramms im Kindesalter.
Klin. Wschr. 1953, 31: 118 - 123
- GARSCHKE, R.: Elektroencephalographie.
in: Brock, J.: Biologische Daten für den Kinderarzt,
Bd. II, Springer Verlag, Berlin 1954
- GASTAUT, H., ROGER, J., und GASTAUT, Y.: Les formes
expérimentales de l'épilepsie humaine: 1.: L'épilepsie
induite par la stimulation lumineuse intermittente
rythmée ou épilepsie photogénique.
Rev. Neurol. 1948, 80: 161 - 183
- GASTAUT, H.: Enregistrement sous-cortical de l'activité
électrique spontanée et provoquée du lobe occipital
humain.
EEG Clin. Neurophysiol. 1949, 1: 205 - 261
- GASTAUT, H.: Combined photic und metrazol activation
of the brain.
EEG Clin. Neurophysiol. 1950, 2: 249 - 261
- GASTAUT, H., und HUNTER, J.: An experimental study of
the mechanism of photic activation in idiopathic
epilepsy.
EEG Clin. Neurophysiol. 1950, 2: 263 - 287

- GASTAUT, H., GASTAUT, Y., ROGER, A., CORRIOL, J., und
NAQUET, R.: Etude électrographique du cycle d'excitabilité cortical.
EEG Clin. Neurophysiol. 1951, 3: 401 - 428
- GIBBS, F.A., und KNOTT, J.R.: Growth of the electrical
activity of the cortex.
EEG Clin. Neurophysiol. 1949, 1: 223 - 229
- GOLLA, F.L., und WINTER, A.L.: Analysis of cerebral
responses to flicker in patients complaining of
episodic headache.
EEG Clin. Neurophysiol. 1959, 11: 539 - 549
- HERRLIN, K.-M.: EEG with photic stimulation: A study
of children with manifest or suspected epilepsy.
EEG Clin. Neurophysiol. 1954, 6: 573 - 589
- HUGHES, J.R. und CAYAFFA, J.J.: The EEG in patients
at different ages without organic cerebral disease.
EEG Clin. Neurophysiol. 1977, 42: 776 - 784
- JOHN, E.R., AHN, H., PRICHEP, L., TREPETIN, M.,
BROWN, D., KAYE, H.: Developmental equations for the
electroencephalogram.
Science 1980, 210: 1255 - 1258
- KOOI, K., ECKMAN, G., und THOMAS, M.H.: Observations
on the response to photic stimulation in organic
cerebral dysfunction.
EEG Clin. Neurophysiol. 1957, 9: 239 - 250
- LAGET, P., und HUMBERT, R.: Facteurs influencant la
réponse électroencéphalographique à la
photostimulation chez l'enfant.
EEG Clin. Neurophysiol. 1954, 6: 591 - 597
- LANSING, R.W., und THOMAS, H.: The laterality of photic
driving in normal adults.
EEG Clin. Neurophysiol. 1964, 16: 290 - 294

- LINDSLEY, D.B.: Brain potentials in children and adults.
Science 1936, 84: 354
- LINDSLEY, D.B.: Electrical potentials of the brain in children and adults.
J.Gen. Psychol. 1938, 19: 285 - 306
- MATOUSEK, M. und PETERSEN, I.: Frequency analysis of the EEG in normal children and adolescents.
in: Kellaway, P. und Petersen, I. (Hrsg.):
Automation of clinical electroencephalography.
Raven Press, New York 1973
- MONTAGU, J.D.: The relationship between the intensity of repetitive photic stimulation and the cerebral response.
EEG Clin. Neurophysiol. 1967, 23: 152 - 161
- MUNDY-CASTLE, A.C.: An analysis of central responses to photic stimulation in normal adults.
EEG Clin. Neurophysiol. 1953, 5: 1 - 22
- NAQUET, R. (Hrsg.): Handbook of EEG and clinical neurophysiology. Part D: Activation and provocation methods in clinical neurophysiology.
Elsevier, Amsterdam 1976
- PECHSTEIN, J.: Entwicklung der Grundaktivität im frühkindlichen EEG.
Fortschr. Med. 1970, 29: 1170 - 1176
- PETERSEN, I., und EEG-OLOFSSON, O.: The development of the electroencephalogram in normal children from the age of 1 through 15 years. Non-paroxysmal activity.
Neuropädiatrie Vol. 2, No. 3, 1971: 247 - 304
- PRECHTL, H.F.R.: The behavioral states of the newborn infant (a review).
Brain Research 1974, 76: 185

- SADOWSKY, K., WEINMANN, H.-M., TIRSCH, W., PÖPPL, S.J.,
und SCHMID, R.G.: Die Entwicklung des kindlichen
Elektroenzephalogramms - Vergleich visueller
und maschineller Auswertung.
Z. EEG - EMG 1983, 14: 134 - 142
- SAMSON-DOLLFUS, D., und GOLDBERG, P.: Electroencephalo-
graphic quantification by time domain analysis in
normal 7 - 15 - year-old children.
EEG Clin. Neurophysiol. 1979, 46: 147 - 154
- SATO, K., OZAKI, T., MIMURA, K., MASUYA, S., HONDA, N.,
NISHIKAWA, R., und SONODA, T.: On the physiological
significance of the average time-and-frequency-
patterns of the electroencephalogram.
EEG Clin. Neurophysiol. 1961, 13: 208 - 215
- SCHEULER, W.: Zur klinischen Bedeutung der gesteigerten
Photostimulationsreaktion im Alpha-Frequenzbereich.
Z. EEG - EMG 1983, 14: 143 - 153
- SHETTY, T.: Photic responses in hyperkinesis of child-
hood.
Science 1971, 174: 1356 - 1357
- SMITH, J.R.: The electroencephalogram during infancy
and childhood.
Proc.Soc. Exp. Biol. Med. 1937, 38: 384 - 386
- SMYTH, V., und WINTER, A.: The EEG in migraine.
EEG Clin. Neurophysiol. 1964, 16: 194 - 202
- VOGEL, W., BROVERMAN, D.M., KLAIBER, E.L., und
KUN, K.J.: EEG response to photic stimulation as
a function of cognitive style.
EEG Clin. Neurophysiol. 1969, 27: 186 - 190
- VOGEL, W., BROVERMAN, D.M., und KLAIBER, E.L.:
EEG responses in regularly menstruating women
and in amenorrheic women treated with ovarian
hormones.
Science 1971, 172: 388 - 391

- VOGEL, W., BROVERMAN, D.M., KLAIBER, E.L., und
KOBAYASHI, Y.: EEG driving responses as a function
of monoamine oxidase.
EEG Clin. Neurophysiol. 1974, 36: 205 - 207
- WALTER, W.G., DOVEY, V.J., und SHIPTON, H.W.: Analysis
of the electrical response of the human cortex to
photic stimulation.
Nature 1946, 158: 540 - 541
- WALTER, V.J., und WALTER, W.Grey: The central effects
of rhythmic sensory stimulation.
EEG Clin. Neurophysiol. 1949, 1: 57 - 86
- WIESER, H.G., und HAFFNER, B.: Der Effekt der photischen
Stimulation im EEG bei der intermittierenden
vertebro-basilären Insuffizienz.
Z. EEG - EMG 1974, 5: 14 - 24

An dieser Stelle möchte ich allen danken, die dazu beigetragen haben, daß diese Dissertation entstehen konnte. Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. med. Dr.h.c. Th. Hellbrügge und Herrn Dr. med. K. Sadowsky für ihre kritische, stets wohlwollende, oft auch zeitaufwendige Unterstützung dieser Arbeit, und für ihre Hilfe, Ermutigung und Ratschläge, mit der sie die Fertigstellung der Dissertation begleiteten.

Besonders bedanken möchte ich mich auch bei Frau Ch. Schipper für ihre große Geduld und Sorgfalt bei der Reinschrift des Manuskripts.

Schließlich möchte ich an dieser Stelle meiner Mutter, Frau E. Bock, danken, ohne deren Ermutigung, aber auch finanzielle Unterstützung diese Arbeit nicht entstanden wäre.

Lebenslauf

Ich, Hans-Martin Wolfram Friedrich Pfitzner, wurde am 29. Oktober 1956 als Sohn von Hans-Günter Pfitzner, Rechtsanwalt, und Erika Pfitzner, geb. Bock, Lehrerin, in München geboren.

Ich bin konfessionslos, mein Familienstand ist ledig. Von 1963 bis 1967 besuchte ich die Volksschule in München, von 1967 bis 1976, ebenfalls in München, das Gymnasium. 1976 erlangte ich die Allgemeine Hochschulreife.

Meinen Zivildienst leistete ich von 1976 bis 1977 im Kinderzentrum München des Bezirks Oberbayern ab.

Von 1978 bis 1986 studierte ich Humanmedizin an der Ludwig-Maximilians-Universität zu München. Die Arztliche Prüfung legte ich mit Erfolg im November 1986 ab. Seit Januar 1987 bin ich approbierter Arzt.

Hans-Martin Pfitzner

(Hans-Martin Pfitzner)

